



DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE ACCESIBILIDAD DE TRANSPORTE NO MOTORIZADO

María Alejandra Saltarín Molino

Tutores: Ruben Yie Pinedo, PhD.
 Julian Alberto Arellana Ochoa, PhD.

Universidad del Norte
Facultad, Departamento Ingeniería Industrial
Barranquilla, Colombia
2017

CONTENIDO

Resumen 5

1. Introducción..... 7

2. Antecedentes..... 12

3. Metodología de diseño de índices de accesibilidad para transporte no motorizado 31

4. Propuesta de una metodología para priorización de infraestructura vial..... 79

5. Conclusiones y Futuras Investigaciones..... 91

ANEXOS 101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Medidas de accesibilidad de transporte no motorizado	15
Figura 2. Metodología de construcción del Índice de accesibilidad.....	31
Figura 3. Factores sobre movilidad peatonal que influyen en la decisión de caminar	33
Figura 4. Factores sobre seguridad vial que influyen en la decisión de caminar	35
Figura 5. Factores sobre seguridad ante robos que influyen en la decisión de caminar	36
Figura 6. Factores sobre comodidad que influyen en la decisión de caminar.....	37
Figura 7. Factores sobre Atractividad que influyen en la decisión de caminar	37
Figura 8. Factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta basada en el componente de movilidad	38
Figura 9. Factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta basada en el componente de seguridad vial.....	40
Figura 10. Factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta basada en el componente de Atractividad.....	41
Figura 11. Distribución de encuestados en la zona de estudio (Peatones)	45
Figura 12. Distribución de encuestados en la zona de estudio (Ciclistas)	49
Figura 13. Primera etapa para toma de datos en Google Earth.	56
Figura 14. Segunda etapa para toma de datos en Google Earth.....	56
Figura 15. Sección o perfil vial de un sector planificado.	58
Figura 16. Sección o perfil vial de un sector no planificado.....	58
Figura 17. Función del ancho efectivo del andén	60
Figura 18. Ciclorruta exclusiva con separación física.....	65
Figura 19. Ciclorruta exclusiva sin separación física.	65
Figura 20. Ciclorruta en el andén.....	65
Figura 21. Bandas ciclo-preferentes	66
Figura 22. Delimitación del centro histórico.	71
Figura 23. Índice de accesibilidad peatonal en el centro histórico.....	72
Figura 24. Fotografía de la Calle 34 extraída de Google Earth	73
Figura 25. Fotografía de la Carrera 46 extraída de Google Earth	74
Figura 26. Fotografía de la Calle 30 extraída de Google Earth	74
Figura 27. Zona de Estudio de Bicicletas en Barranquilla	75
Figura 28. Fotografía de la Carrera 45 Calle 50 extraída de Google Earth.....	76
Figura 29. Índice de accesibilidad para ciclistas (Trabajo)	77
Figura 30. Índice de accesibilidad para ciclistas (Deporte)	78
Figura 31. Ubicaciones de las encuestas OD.....	81
Figura 32. Red vial de Barranquilla usada para la Asignación de viajes en TRANSCAD	83
Figura 33. Demanda de bicicletas para trabajo mediante Asignación Todo o Nada	84
Figura 34. Priorización de ciclorrutas en Barranquilla	89
Figura 35. Flujo de bicicletas en los corredores propuestos.....	90

LISTA DE TABLAS

Aspectos generales de la medida de accesibilidad para transporte no motorizado	16
Metodología para desarrollar el índice de accesibilidad peatonal.....	17
Datos socioeconómicos de las encuestas	44
Resultado de la encuesta sobre movilidad peatonal.	46
Resultado de la encuesta sobre seguridad vial.	46
Resultado de la encuesta sobre seguridad ante robos.	47
Resultado de la encuesta sobre comodidad.....	47
Resultado de la encuesta sobre Atractividad	47
Resultado de la encuesta de los componentes que afectan la accesibilidad peatonal.	48
Datos socioeconómicos de las encuestas	48
Datos de las características de los encuestas	49
Variables para modelos de las encuestas tipo Ranking	50
Importancia sobre los factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta.....	52
Importancia de factores relacionados a las condiciones viales.	53
Importancia de factores relacionados a la seguridad vial.	54
Importancia de factores sobre seguridad ante robos.	55
Descripción de las variables sobre movilidad peatonal	59
Descripción de las variables sobre seguridad vial	61
Descripción de las variables de seguridad ante robos	62
Descripción de los atributos sobre comodidad.	63
Descripción sobre los atributos de Atractividad.....	64
Descripción de atributos sobre movilidad y comodidad	67
Descripción de atributos sobre seguridad vial	68
Descripción de atributos sobre seguridad ante robos	69
Puntos de interceptación para realización de Encuestas OD	79
Descripción de muestra de encuesta OD.....	80
Puntos de Aforo de Bicicletas.....	82
Atributos de la red usada para Asignación Todo o Nada de Bicicletas	82
Variables independientes de modelo de Demanda directa	86
Resultado Modelo de viaje por propósito de recreación y deporte.	87
Resultado Modelo de viaje por propósito de trabajo.	88

Resumen

Una adecuada infraestructura vial de transporte no motorizado considera ventajas de tipo social, económica y ambiental. En el contexto social, las condiciones viales apropiadas estimulan a las personas a caminar, lo cual incide a mejorar sus condiciones físicas. A su vez, al invertir en elementos como dispositivos de control de tráfico, reductores de velocidad, entre otros, se contribuye a disminuir la accidentalidad de los peatones y ciclistas.

En el aspecto ambiental, unas condiciones adecuadas de infraestructura vial incentivan a las personas a caminar o manejar bicicleta, disminuyendo la generación de gases contaminantes que causan degradación al medio ambiente.

El costo de viaje en el sistema de transporte no motorizado es considerablemente menor en comparación con el transporte motorizado, por lo que demuestra la necesidad de priorizar inversión en infraestructura para peatones y ciclistas, justificando el ahorro que se incurría al seleccionar dicho modo de transporte.

Aun así, se han presentado más estudios que evalúan y priorizan inversiones de transporte motorizado, proponiendo de esta manera la construcción de indicadores de accesibilidad para medir la facilidad con la que un peatón o ciclista transita de un origen hacia un destino. A su vez, estos indicadores son usados como diagnóstico actual de las condiciones del ambiente construido y como una herramienta de ayuda para priorización de inversión en infraestructura vial.

Aunque, en la literatura existe multiplicidad de indicadores estimados en distintos contextos, los autores no han establecido la importancia de cada atributo basado en un modelo de elección discreta considerando un gran número de variables y segmentado por propósito de viaje. Además, en la literatura no se ha presentado un índice no lineal validado que considere interacciones entre variables y no se ha diseñado una metodología de priorización de infraestructura que establezca una comparación estadísticamente fuerte entre oferta y demanda de viajes.

Por lo anterior, en esta investigación se propone construir un índice calculando la importancia de cada atributo mediante un modelo de elección discreta considerando un gran número de variables relacionadas con movilidad, seguridad vial, comodidad y seguridad ante robos. La recopilación de los datos se realizó por medio de los servicios de Google y el índice se construyó según las características del usuario.

Para el desarrollo del índice de accesibilidad de transporte no motorizado que considere los aspectos antes mencionados, se aplicó una metodología que consiste en seleccionar los atributos más importantes según revisiones de literatura. Luego, se procedió a establecer la importancia de cada atributo mediante modelos de elección discreta y encuestas a usuarios y no usuarios del sistema de transporte en cuestión. Finalmente, se cuantificaron los atributos escogidos del índice con el fin de proponer un método para priorización de infraestructura vial.

Esta metodología fue aplicada en la ciudad de Barranquilla, realizaron encuestas basadas en el método de explosión del ranking y modeladas mediante el modelo Logit Multinomial (MNL), para así establecer las percepciones de los usuarios. En el caso de ciclistas, el índice se diferencia según el propósito de viaje y tipo de usuario.

La propuesta de priorización de inversión radica en la aplicación de una encuesta Origen-Destino (OD) y la construcción de un modelo de demanda directa para predecir la demanda de viajes de bicicleta. Este modelo considera el índice de accesibilidad como variable independiente, dado que es uno de los factores que influyen al momento de decidir manejar bicicleta en una ciudad.

Los resultados obtenidos establecen que la seguridad ante robos es el aspecto más importante para los peatones, el cual es poco considerado en la literatura. Además, la movilidad y comodidad peatonal son igual de importantes, mientras que la atractividad es el aspecto menos importante para este tipo de usuario. El nivel de servicio es uno de los índices más utilizados y considera el ancho del andén para su explicación, aunque las condiciones del andén y los obstáculos en las vías son más importantes que el ancho de éste.

En el caso de la aplicación realizada a la accesibilidad para ciclistas, los resultados establecen que las vías principales son más demandadas por ellos, pero son las más inseguras ante accidentes. Asimismo, se corrobora que las personas de estratos bajos eligen la bicicleta como modo de transporte para propósito de trabajo.

La presencia de ciclo-infraestructura es más importante para los individuos que manejan bicicleta por deporte, mientras que las condiciones viales son un aspecto con mayor importancia para los usuarios que manejan bicicleta para llegar a su trabajo. Para los usuarios de bicicleta al igual que los peatones, la seguridad ante robos es uno de los atributos más importantes.

En general, se presenta una metodología que considera la percepción de los usuarios y en la cual se aplica encuestas basadas en el método de explosión del ranking usando un modelo MNL. En el caso de los ciclistas, el índice se diferencia según el tipo de usuario, dado que la percepción de los individuos que manejan por trabajo considera percepciones distintas que los usuarios de deporte. Por último, el índice considera variables de demanda y de oferta de viajes de manera conjunta, lo que permitiría tomar decisiones considerando ambos factores.

1. Introducción

Las medidas de accesibilidad son usadas para evaluar la facilidad con la que diferentes tipos de usuarios pueden acceder a una zona o vía, y son útiles para caracterizar y establecer políticas de mejoras sobre la infraestructura vial existente. En el contexto de aplicación con usuarios no motorizados, se permitió conocer las zonas o segmentos de vía que potencialmente pudieran ser sujetas a la construcción de ciclo-infraestructura.

Los “índices de accesibilidad” y los “niveles de servicio” de la infraestructura son ejemplos de medidas de accesibilidad. La diferencia entre estas medidas radica en que los “índices de accesibilidad” evalúan la facilidad de llegar a un destino establecido considerando características de oferta y demanda. Mientras que, los “niveles de servicio” analizan el grado de satisfacción de los usuarios respecto a una vía o segmento de ésta, la cual es independiente del origen y destino, y se basan en las características de la oferta de transporte.

Por ejemplo, el índice de accesibilidad peatonal (Walkability index, en inglés) mide la facilidad que tiene un peatón para trasladarse de un origen a un destino específico considerando las condiciones de la infraestructura y otras variables que puedan influenciar la posibilidad de completar el viaje caminando. El índice de accesibilidad de bicicletas (Bikeability score, en inglés), análogamente, considera atributos sobre el origen, destino de los viajes y factores sobre el medio ambiente construido.

El nivel de servicio peatonal se refiere al grado de satisfacción que el peatón tiene respecto a un segmento de vía que utiliza para completar su viaje, considerando variables como el ancho del andén y otras características del tramo evaluado. Al igual que para el caso peatonal, el nivel de servicio de bicicletas no considera aspectos sobre la demanda de viajes, incluyendo solamente aspectos relacionados con el medio ambiente construido.

En la literatura se han utilizado diversas metodologías para formular estos índices de accesibilidad peatonal y de ciclistas. Dentro de las más comunes se encuentran los modelos empíricos y los modelos multivariados, como es el proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés). La metodología AHP considera la percepción de expertos en el tema, no logrando capturar las preferencias de los mismos usuarios. Por otro lado, los modelos empíricos son considerados los más adecuados para la construcción de estos índices debido a que se formulan a partir de las percepciones de diferentes usuarios.

Los modelos empíricos permiten calcular la ponderación de los diferentes factores que pueden incidir en el nivel de accesibilidad a partir de encuestas de preferencias declaradas o reveladas. Estos a su vez utilizan la demanda o la percepción de los usuarios respecto a la facilidad de moverse por algún tramo de vía como variable dependiente y consideran los atributos de la vía como variables independientes. Además, la mayoría de las aplicaciones tienen un problema al considerar un modelo con un número limitado de variables independientes debido al costo de recolección de datos y el aumento en la complejidad de las encuestas. Esta limitante puede sesgar los resultados del modelo y carecer de precisión.

El objetivo de este proyecto es diseñar una metodología que permita obtener índices de accesibilidad peatonal y de bicicletas, considerando la percepción de los usuarios sobre un gran número de atributos de la infraestructura vial y sobre otros factores que puedan incidir en la elección de modos de transporte no motorizados. Con estos índices se pretende evaluar la infraestructura vial existente respecto a la facilidad de desplazamiento que ofrece a peatones y ciclistas. Además, se busca formular una metodología que tenga en cuenta estos índices para priorizar proyectos de inversión en transporte que favorezca la movilidad no

motorizada y la conectividad de los peatones y ciclistas hacia diferentes zonas de actividades económicas dentro de una zona de estudio.

1.1. Planteamiento del Problema

Las primeras medidas de accesibilidad que se diseñaron para evaluar proyectos de mejora en las redes de transporte no incluyeron la percepción de los usuarios respecto a los atributos que consideran significativos al momento de caminar o de manejar en bicicleta en una zona (Landis, et al., (2001), en estudios peatonales; Harkey et al. (1998) en estudios de ciclistas).

Moudon et al., (2006) y Park (2008) consideraron la percepción de los peatones y construyeron un índice mediante modelos empíricos, donde la variable dependiente es la valoración sobre la percepción de los usuarios con relación a los componentes que pueden afectar la caminata o el tiempo de caminata, y las variables independientes son los atributos de demanda u oferta de viajes que afectan a los peatones al momento de caminar por una vía o zona.

Por otra parte, Van Dyck et al., (2012) diseñó un índice de accesibilidad de bicicletas que considera la percepción de los usuarios llamado "cyclability", el cual es la suma de las puntuaciones estándar de los factores del ambiente construido y donde dichas puntuaciones son establecidas mediante asignación de puntos, siendo este el promedio de la puntuación dada en una encuesta.

Sin embargo, los modelos empíricos o promedios de puntuaciones estándar son una manera poco efectiva para la formulación del índice, porque pueden generar correlación entre las variables independientes, o alguna variable independiente significativa puede no entrar dentro del modelo.

Beiler y Phillips (2016) y Lowry et al., (2016) aplicaron índices de accesibilidad como un criterio para priorizar inversión en infraestructura. A pesar de esto, no consideraron la percepción de los usuarios para la construcción del índice y en algunos casos, aplicaron encuestas a expertos modelando mediante el análisis multi-criterio (AHP) o compararon medidas relacionadas a oferta y demanda de viajes.

Por ello, la presente investigación plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar medidas de accesibilidad para peatones y ciclistas que permitan proponer una metodología para establecer políticas de mejora basadas en desarrollar inversiones en redes de ciclo-infraestructura y redes peatonales considerando la percepción de los usuarios sobre el medio ambiente construido y aspectos cualitativos como seguridad vial y seguridad ante robos establecida estadísticamente?

1.2. Justificación

La importancia de la evaluación y priorización de inversiones en sistemas de transporte como son el transporte no motorizado radica en que la evolución de los sistemas de transporte está estrechamente ligada al desarrollo de las ciudades, regiones y países. La necesidad de realizar actividades en lugares y tiempos diferentes, de conectarse y comunicarse de forma económica y segura en el día a día, hace que los sistemas de transporte tengan grandes impactos sociales y económicos en una sociedad. El continuo y acelerado crecimiento de las ciudades y países, de sus necesidades económicas, el crecimiento de los problemas ambientales, y el aumento de la desigualdad social, demanda políticas de transportes que sean sostenibles y competitivas.

Los sistemas de transporte deben ser planificados de tal manera que puedan convertirse en la columna vertebral pro-activa para dinamizar una urbe o una región, influenciando positivamente el bienestar de sus habitantes a través de la igualdad de oportunidades en términos de acceso y movilidad para todos los usuarios. Por ello, en esta investigación se propone realizar una metodología para priorizar inversiones en infraestructura vial concernientes a sistemas de transporte no motorizado, para así poder tomar decisiones sobre potenciales zonas o vías donde se deben realizarse mejoras en la infraestructura vial y así consecuentemente aumentar la accesibilidad del sistema de transporte y la conectividad de las diferentes zonas de actividades económicas.

Las ventajas de que una ciudad cuente con un sistema de transporte no motorizado eficiente está enfocada principalmente hacia los vehículos motorizados genera severas consecuencias ambientales, económicas y de segregación social. En Colombia, por ejemplo, de los gases contaminantes de azufre, nitrógeno, y carbono que son liberados diariamente, el 61% son causados por vehículos automotores. Los anteriores gases contaminantes son reconocidos por causar degradación del medio ambiente, y por causar enfermedades pulmonares y alteraciones nerviosas que atentan con la vida de las personas (Garcia, 2002).

Según datos al 2012, el 29% de los muertos y heridos que se producen en accidentes de tránsito corresponden a peatones (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2012), lo cual sugiere que dichos usuarios se encuentran dentro de los más vulnerables en términos de seguridad vial y genera grandes pérdidas económicas para la sociedad.

Se ha encontrado que la infraestructura no motorizado estimula a las personas a caminar y esto se relaciona con un aumento de la actividad física de los ciudadanos (L. D. Frank, T. L. Schmid, J. F. Sallis, J. Chapman, & B. E. Saelens, 2005). La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que la inactividad física es un riesgo global que contribuye al 6% de la mortalidad en el mundo (World Health Organization, 2009), siendo este uno de los indicadores responsables de enfermedades crónicas, asociados al aumento de enfermedades cardiovasculares, cáncer, obesidad y diabetes. En Colombia, de acuerdo a un estudio nacional de factores de riesgo de enfermedades crónicas, se estimó que el 52% de la población no realiza actividad física (Vidarte Claros, Vélez Álvarez, Sandoval Cuellar, & Alfonso Mora, 2011), sugiriendo niveles considerables de sedentarismo. Factores como la insuficiencia de la infraestructura para peatones y ciclistas, la calidad del aire, las altas tasas de criminalidad e inseguridad, la sobrepoblación, y el aumento del uso de sistemas de transporte pasivos están asociados a altos niveles de sedentarismo. La infraestructura para ciclistas y peatones contribuye también a la disminución de la contaminación ambiental por parte del sector vehicular, a la creación de espacios que favorezcan a la salud mental y a la disminución del estrés.

Dado lo anterior, la importancia de considerar un índice capaz de evaluar la infraestructura vial de una ciudad según la percepción de ciclistas y peatones es importante para conocer las posibles mejoras que se deben realizar en la ciudad con respecto a los factores que afectan la accesibilidad de transporte no motorizado y así contribuir para al aumento de la actividad física, disminución de problemas ambientales por uso de transporte privado, y permitir que todos los usuarios de la ciudad accedan al modo de transporte deseado sin problemas por mal estado o mala planificación de la infraestructura del transporte no motorizado.

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Determinar una metodología para evaluar la accesibilidad de peatones y ciclistas que permita evaluar proyectos de infraestructura de transporte.

Objetivos Específicos

- Diseñar índices de accesibilidad peatonal y de bicicletas teniendo en cuenta un gran número de variables.
- Proponer una metodología para priorizar inversiones en infraestructura que mejoren la accesibilidad de peatones y ciclistas, considerando la conectividad de las diferentes zonas de actividades económicas.
- Desarrollar un sistema de información geográfico que permita visualizar índices de accesibilidad de diferentes tipos de usuarios.

1.4. Metodología Propuesta

- Seleccionar las variables que afectan la accesibilidad: El estudio abarca una revisión del estado del arte sobre los diferentes índices desarrollados para evaluar accesibilidad de peatones y ciclistas; basados en los resultados de este estudio se seleccionaran los factores que afectan de manera más significativa la facilidad con la que un individuo llega a su destino.
- Formulación de un índice de accesibilidad: En esta etapa se definirán los criterios que se incorporarán como parte de los índices de accesibilidad a estimar en la presente investigación. Los criterios para diseñar el índice se definirán basados en la revisión de la literatura y en el juicio de expertos en el tema.
- Obtención de la importancia de cada factor: Se desarrollan encuestas de explosión del ranking para determinar las preferencias de las personas respecto a los diferentes elementos de la infraestructura vial y de factores que afectan la accesibilidad de los diferentes usuarios y así establecer la importancia de cada factor en el caso de accesibilidad de transporte no motorizado, estas encuestas en el caso de accesibilidad para peatones y ciclistas se analizan mediante modelos de elección discreta.
- Diagnóstico de las condiciones de accesibilidad y conectividad actuales de la infraestructura vial: Se planea usar herramientas como ARCGIS, Google Street View y efectuar visitas de campo con el fin de realizar un inventario de la infraestructura vial, en esta etapa se realiza el diseño de cada atributo, es decir se realizan subíndices matemáticos que midan los atributos que afectan la accesibilidad de cada modo de transporte.
- Estimación de los índices de accesibilidad para los diferentes usuarios: En esta etapa se calcularán los índices de accesibilidad y se desarrollará un sistema de información geográfico que permita visualizar y socializar dicha información, con el ánimo de ser replicado en otras zonas de estudio.

- Propuesta para establecer políticas de mejoras sobre infraestructura de transporte: A partir de los índices estimados se propondrá una metodología para establecer políticas de mejora y proponer inversiones en infraestructura vial.

2. Antecedentes

A continuación se mostrarán los antecedentes para el correcto entendimiento del presente proyecto, y las distintas investigaciones encontradas en la literatura para establecer una metodología de construcción de un índice de accesibilidad que considere aspectos innovadores y se establezca como herramienta de priorización de inversiones en infraestructura vial.

2.1. Medidas de Accesibilidad

La accesibilidad espacial es una de las medidas más usadas en la literatura de geografía del transporte. Dependiendo del objeto de estudio, cada investigador establece su propia definición de accesibilidad. Niemeier (1997) define la accesibilidad como la facilidad en la que una entidad se moviliza desde un punto de origen hacia un destino específico usando la red de transporte. Por otra parte, Hansen, (1959) el pionero de las medidas gravitacionales, considera la accesibilidad como la habilidad de una entidad para superar la separación espacial.

Según Scheurer & Curtis (2010), las medidas de accesibilidad pueden clasificarse en aquellas basadas en separación espacial, en áreas, medidas gravitacionales, medidas de espacio- tiempo y en utilidades de los individuos.

Las medidas basadas en separación espacial son aquellas que consideran los atributos del sistema de transporte. Típicamente, describen el funcionamiento del sistema de transporte en términos de tiempo de viaje, congestión y nivel de servicio de la red vial (Geurs & Van Wee, 2004). Un ejemplo de estas medidas es realizado por Rodríguez y Targa (2004), los cuales analizaron la accesibilidad hacia las vías principales para acceder al Transmilenio en Bogotá y donde seleccionaron el tiempo de caminata y tiempo de viaje como los índices a evaluar.

Medidas de área o isócronas determinan la accesibilidad a través del conteo de oportunidades en una zona establecida (Bhat et al., 2000). Este tipo de medidas no es capaz de capturar la variación de los niveles de accesibilidad entre distintas actividades dentro de una zona de estudio. Investigadores como Páez et al., (2010) aplicaron este tipo de medidas de área para evaluar la accesibilidad hacia los lugares de empleo en distintas zonas.

Las medidas de gravedad combinan los efectos del uso del suelo, atributos de la infraestructura de transporte y las percepciones individuales, porque en su cálculo se establece una función de decaimiento que tiene en cuenta las percepciones del objeto de estudio, considerando las oportunidades potenciales de atracción (Geurs & Van Wee, 2004). Una de las aplicaciones de esta medida fue para evaluar los cambios de accesibilidad dado una mejora en la red de transporte (Martín & Reggiani, 2007).

Las medidas de competencia incorporan las restricciones de capacidad de las actividades y de los usuarios del transporte (Scheurer & Curtis, 2007). Las medidas de tiempo-espacio miden las oportunidades de viaje incorporando restricciones espaciales y de tiempo (Scheurer & Curtis, 2007). Con este tipo de medidas, los planificadores urbanos toman decisiones sobre las políticas del transporte (Geurs & Van Wee, 2004). Van Wee et al., (2001) calculan el número de trabajos, en el cual una persona puede acceder dado una cierta restricción de tiempo de viaje por carro.

Las medidas basadas en la utilidad son usadas para evaluar el impacto económico, social y ambiental de la provisión de infraestructura (Scheurer & Curtis, 2007). Este tipo de medida estima los beneficios por escoger un tipo de transporte o por acceder a cierta actividad (Geurs

& Van Wee, 2004). En la literatura, Niemeier (1997) propone un estudio práctico para evaluar cual destino y modo de transporte genera el mayor beneficio a través de este tipo de medida.

Algunas modificaciones de medidas de accesibilidad son propuestas por algunos investigadores. Salze, et al., (2011) proponen un índice dinámico de accesibilidad, considerando los movimientos de los individuos en el espacio.

Taylor (2012) propone una nueva medida que considera la vulnerabilidad de las redes de transporte que se modela como el inverso de la distancia. Martin & Reggiani (2007) propone un método para evaluar el impacto de la inversión de infraestructura aplicando tres tipos de medidas de accesibilidad (medida de localización, medida potencial de mercado, y medida de accesibilidad diaria). Como los indicadores establecen distintos métodos para abordar el tema, los autores los sintetizan mediante análisis multivariado para así proporcionar una medida de accesibilidad global.

Vale, Saraiva, & Pereira, (2015) realizaron una revisión literaria sobre índices de accesibilidad para ciclistas y peatones, los cuales consideran los factores anteriormente mencionados. En su caso, distinguen cuatro tipos de medidas: accesibilidad basada en distancia, accesibilidad potencial gravitacional, accesibilidad isocrona, "walkability"/"walk score".

La medida de accesibilidad peatonal a diferencia de las otras tres, incluye características del origen, del destino y del entorno construido conjuntamente, aunque no considera variables topológicas, a diferencia del nivel de servicio peatonal que es definido como la medida global de las condiciones para caminar en una ruta, camino o instalación, es decir, su unidad de análisis espacial es a nivel micro (Gallin, 2001); (B. W. Landis et al., 2001).

Además, en el nivel de servicio peatonal considera medidas de servicio como velocidad, tiempo de viaje, volumen vehicular, comodidad y conveniencia (HCM, 2000), pero no aplica en su construcción aspectos sobre demanda peatonal (Sungjin Park, 2008).

El índice "walk score" es similar al índice de accesibilidad peatonal, pero incluye variables topológicas y de accesibilidad basadas en distancia. En ese caso, comunmente se tiene en cuenta la distancia mínima entre puntos, la densidad de las intersecciones y la longitud de andenes, entre otros (Vale et al., 2015). Este índice también se ha aplicado para ser correlacionado con la actividad física (Brewster, Hurtado, Olson, & Yen, 2009), con el fin de asociar la caminata con enfermedades crónicas como la diabetes, hipertensión y obesidad, llegando a la conclusión que en zonas con menores "walk score", las personas presentan mayor probabilidad de sufrir las anteriores enfermedades.

Además del diseño de medidas de accesibilidad peatonal, también otros autores proponen medidas de accesibilidad de bicicletas, que sirven para identificar áreas con mayor o menor impedancia para conducir una bicicleta, mientras que el nivel de servicio de bicicletas (BLOS) evalúa el nivel de satisfacción de un individuo con respecto a una sección de vía para bicicletas, en general mide la percepción de comodidad y seguridad de una sección de vía para ciclistas. (El término vía incluye caminos de uso compartido y cualquier carretera donde se permite el recorrido de la bicicleta) (M. B. Lowry, Callister, Gresham, & Moore, 2012).

2.2. Modelos de eleccion con datos de jerarquización

Los modelos de elección discreta permiten definir la probabilidad de elegir una determinada alternativa en función de atractividad relativa de ésta dentro de un conjunto de posibles alternativas finitas. Dicha atractividad es medida como una función de utilidad, la cual es una combinación lineal compuesta por los atributos de la alternativa y los coeficientes que representan la influencia relativa de cada atributo (de Dios Ortuzar & Willumsen, 1991).

La modelación de la encuesta de accesibilidad peatonal consistió en rankear distintas alternativas según la importancia de ésta para el individuo encuestado y no se consideran atributos observables de cada alternativa, sino la opinión de cada individuo. Por ello, la función de utilidad de la alternativa r_1 , $U(r_1)$ considera la constante específica de la alternativa θ_0 , que se interpreta como la representación de la influencia neta de las características no observadas del individuo y de la alternativa de transporte (de Dios Ortuzar & Willumsen, 1991). En el caso de los ciclistas, no solo se considera la constante específica, sino que también se aplican variables socioeconómicas y el propósito del viaje, es decir, la utilidad de alguna alternativa aumenta o disminuye según distintas variables (X_1, X_2, \dots) como son la edad, estrato o el propósito por el cual una persona maneja bicicleta. Las variables $\theta_1, \theta_2, \dots$ representa la importancia de dicha variable.

$$U(r_1) = \theta_0 + \theta_1 * X_1 + \theta_2 * X_2 + \dots \quad (1)$$

Dicha encuesta de percepción se ajusta con un modelo de elección discreta con datos de jerarquización. En este análisis los individuos deben ordenar un conjunto de N alternativas en orden de preferencia, donde el individuo debe realizar el siguiente ejercicio de eleccion:

$$U(r_1) \geq U(r_2) \geq \dots \geq U(N) \quad (2)$$

Donde, $U(r_i)$ son los valores de utilidad de la alternativa colocada en la posición i . Para su modelación se realiza un modelo Logit Multinomial (MNL). Los residuos de éste se distribuyen Gumbel IID, y la probabilidad que un individuo q elija una alternativa i , se modela de la siguiente manera:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta U(r_i))}{\sum_{A \in A_j} \exp(\beta U(r_j))} \quad (3)$$

Donde, $\beta = \frac{\pi}{\sqrt{6}\sigma}$, siendo éste igual a 1, debido a que si todas las utilidades se multiplican por β no se alteraría el resultado del ranking. En este caso, para analizar los datos de jerarquización mediante modelos (MNL) se lleva a cabo a partir del siguiente teorema (Luce & Suppes, 1965):

$$\text{Prob}(r_1, r_2, r_3, \dots) = \text{Prob}(r_1/C) * \text{Prob}(r_2/C - \{r_1\}) \dots \quad (4)$$

Donde $\text{Prob}(r_1, r_2, r_3, \dots)$ es la probabilidad de observar que la jerarquización indique que r_1 es más importante que r_2 y así sucesivamente, y $\text{Prob}(r_1/C)$ es la probabilidad de elegir r_1 como el más importante del conjunto $C = r_1, r_2, r_3, \dots$. Esta última se calcula como se explica en la ecuación (3).

Sin embargo, se debe considerar que la información puede estar sesgada debido a que las alternativas menos importantes son tratadas usualmente con menos cuidado por los encuestados, considerando que la encuesta se realiza por orden descendente y se requiere

realizar $\frac{N^2+N}{2} - 1$ comparaciones. Debido a lo anterior, Bradley y Daly (1994) proponen separar los datos en grupos diferentes, donde cada uno corresponde a un nivel de profundización, es decir, el primero es donde están disponibles todas las alternativas, y en otros no estén disponibles todas éstas.

2.3. Medidas de Accesibilidad y Nivel de Servicio

En la etapa del diagnóstico de las condiciones de infraestructura peatonal se establecen índices que evalúen la accesibilidad para peatones. Entre ellos se encuentra “walkability index”, “walk score”, índice de nivel de servicio peatonal, medidas de accesibilidad basada en distancia, accesibilidad potencial gravitacional o medidas de accesibilidad topológica (Vale et al., 2015). Esta investigación se enfoca en el análisis de “walkability index”, “walk score” y niveles de servicio peatonal, debido a que éstas consideran características del ambiente construido y permiten realizar una evaluación más amplia de la accesibilidad.

Por otra parte, en la literatura los índice de accesibilidad para ciclistas son conocidos como “bikeability” y nivel de servicio para bicicletas, diferenciándose cada uno de estos por el objetivo de la investigación. En el caso de “bikeability”, considera la accesibilidad a lugares importantes, mientras que nivel de servicio para bicicletas establece el grado de comodidad y seguridad de un tramo de infraestructura para bicicletas. En este caso, mientras que la unidad espacial de análisis del índice de accesibilidad para bicicletas es un polígono, el nivel de servicio para bicicletas es una polilínea.

Por lo tanto, la medida de accesibilidad para transporte no motorizado se clasifica como se muestra en la Figura 1.

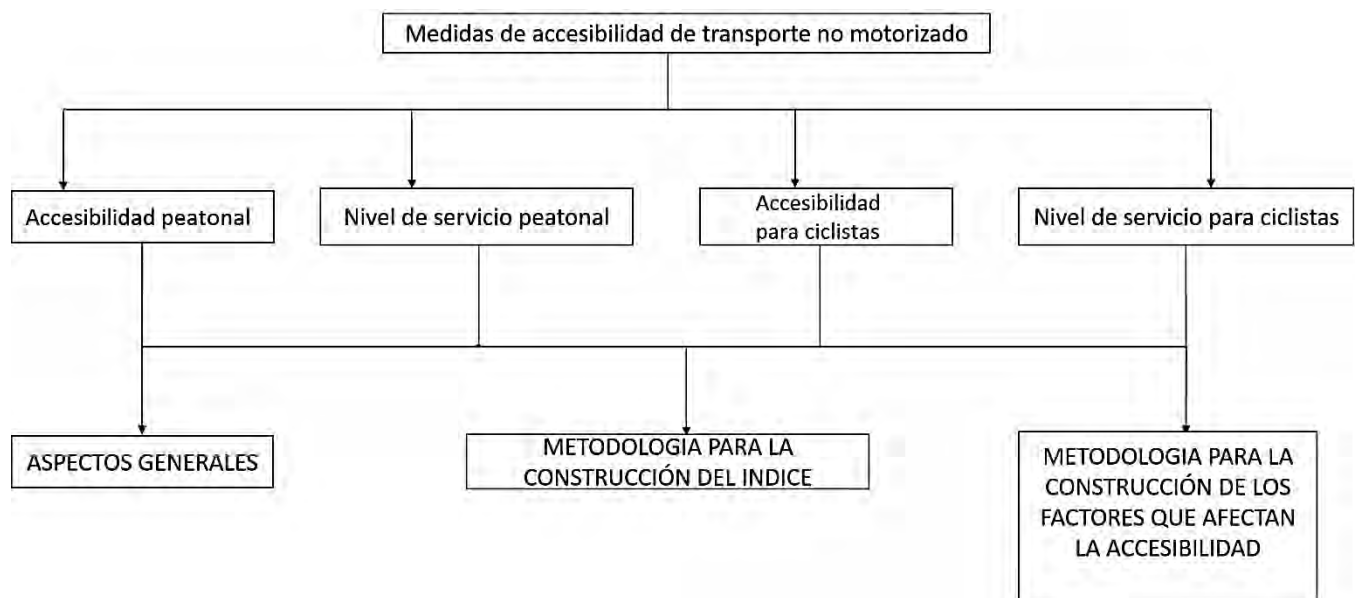


Figura 1. Medidas de accesibilidad de transporte no motorizado

Considerando lo anterior, se realizó una búsqueda con las palabras claves como: “Walkability”, “Pedestrian level of service” (Nivel de servicio peatonal), “Bikeability” y “Bicycle level of service” (nivel de servicio para ciclistas). Se revisaron 100 artículos sobre medida de

accesibilidad para transporte no motorizado, de los cuales 40 de ellos pertenecen a medidas sobre bicicletas y 60 pertenecen a las medidas peatonales.

Al revisar los artículos, se decidió clasificar las medidas de accesibilidad en tres tipos de elementos: aspectos generales, metodología para el desarrollo del índice y construcción de los factores que miden la accesibilidad de transporte no motorizado. La metodología de construcción de los factores que afectan la accesibilidad consta en primer lugar de seleccionar los factores que influyen en la decisión de uso de transporte no motorizado. Luego, se procedió a formular el índice en cuestión considerando algún método estadístico que incluyan los factores seleccionados.

La Tabla 1 muestra la clasificación de aspectos generales de la medida de accesibilidad, los cuales se describen según el objetivo del estudio, tipo de índice usado en la investigación, la unidad de análisis de éste y el tipo de estudio en el cual se aplica el índice de accesibilidad.

Unos artículos se enfocaron en construir medidas de accesibilidad con el fin de evaluar una vía, mientras que otros aplicaron distintos indicadores de accesibilidad con el objetivo de priorizar infraestructura peatonal. Adicionalmente, otro objeto de estudio identificado en la literatura se relaciona a la comparación de distintos indicadores de accesibilidad peatonal, el cual fue aplicado para conocer el indicador que más afecta el acceso a la infraestructura de transporte no motorizado.

ASPECTOS GENERALES DE LAS MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD DE TRANSPORTE NO MOTORIZADO			
Objetivo	Tipo de índice	Unidad de análisis	Caso de estudio
Evaluar el nivel de caminabilidad de una vía o zona			
Priorizar infraestructura peatonal			
Comparar indicadores de caminabilidad			
Índice de nivel de servicio peatonal (PLOS)			
Nivel de servicio bicicletas (BLOS)			
Índice de accesibilidad para ciclistas			
Índice de caminabilidad			
		Polígonos	
		Arco	
			Accesibilidad al transporte público
			Relación con variables asociadas a la salud o actividad física
			Caminabilidad en zonas urbanas

Tabla 1. Aspectos generales de la medida de accesibilidad para transporte no motorizado

La metodología para desarrollar el índice de accesibilidad de transporte no motorizado incluye dos aspectos: el método de modelación del índice y el método en el que fueron tomados los datos. Estos aspectos se presentan en la Tabla 2.

METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR EL ÍNDICE DE ACCESIBILIDAD			
¿Percepción de los usuarios?	Tipo de usuario de toma de datos	Tipo de toma de datos	Modelación del índice
No	Expertos	Individuos en la zona de	<p>Modelos de elección discreta</p> <p>Análisis multi-criterio</p> <p>Análisis multivariado</p> <p>Análisis espaciales</p> <p>Promedio o suma de los valores de cada atributos</p> <p>Simulación</p> <p>Indicador de accesibilidad simple</p>
Si	No Aplica	Preferencias declaradas	
		Preferencias reveladas	
		Encuestas de percepción	
	No Aplica		
		Modelos de regresión	

Tabla 2. Metodología para desarrollar el índice de accesibilidad peatonal

Luego de la clasificación a partir de la Tabla taxonómica del ANEXO 3 y 4, se realizó el análisis de cada uno de los artículos revisados de manera cronológica, clasificando las medidas de accesibilidad como se presenta en la Figura 1 y en cada explicación del artículo se manifiesta la metodología y los aspectos generales de cada medida de accesibilidad. A continuación se explican los artículos asociados al índice de accesibilidad peatonal.

2.3.1. Índice de accesibilidad peatonal

Aunque el concepto de accesibilidad peatonal ha sido ampliamente usada en distintos estudios, su definición es aún un reto para los investigadores. Moudon et al., (2006) afirmaron que una zona caminable es aquella en que los peatones tienen la capacidad de caminar, considerando aspectos del ambiente construido, seguridad vial y aquellos relacionados con el nivel de sociabilidad entre peatones. Además, puede ser definida como el grado en el cual se considere caminar como una opción para los peatones, teniendo en cuenta que el área es segura, accesible y placentera (www.tfl.gov.uk).

Similar al índice de accesibilidad peatonal se encuentra "Walk Score", el cual es desarrollado y validado en distintos estudios. La construcción de este índice se realiza valorando cada destino según su importancia para los peatones y calibrando una función de decaimiento (exponencial) usada para darle menor puntuación a zonas donde los destinos están más alejados del origen (<https://www.walkscore.com>). Este índice mencionado es uno

de los más importantes en la literatura, debido a que ha sido validado por distintos autores como Carr et al., (2010) y El Geneidy y Manaugh (2010).

Estos índices se diferencian por la unidad espacial de análisis de sus estudios, la cual puede ser a nivel micro o macro. La unidad espacial de estos índices analizados en niveles macro, puede ser un barrio (Frank et al., 2006), una ciudad (Krambeck, 2006), o zonas de actividad (Tribby, Miller, Brown, Werner, & Smith, 2016). Mientras que, la unidad de análisis a nivel micro se puede describir como tramos o vías en una zona de estudio (Loo & Lam, 2012; Sungjin Park, 2008).

El principal objetivo de los estudios encaminados a realizar índices con unidad de análisis a nivel macro, es evaluar el grado de satisfacción al caminar por una zona. Por ejemplo, Bradshaw (1993) diseñó el primer índice de accesibilidad peatonal a nivel zonal, el cual no incluye algún indicador de conectividad, sino variables que caracterizan al ambiente construido, modelado mediante métodos de asignación de puntos según el criterio del autor.

Matley et al., (2000) aplicaron el **"Pedestrian Potential Index" (PPI)** para identificar las áreas de mayor demanda peatonal. Este índice considera los siguientes indicadores: densidad de la población, densidad del empleo, comportamiento de la movilidad personas según el uso del suelo, y densidad de la red de transporte. En este caso se establecen umbrales a cada indicador, y si alguna zona presenta un valor encima del umbral significa que presenta alta demanda potencial.

Las medidas de accesibilidad peatonal, en diversas ocasiones, son relacionadas con distintas variables, por ejemplo, variables asociadas a la salud física, demanda peatonal, entre otros. Como es el caso del estudio realizado por Frank et al., (2006), que tiene como objetivo asociar el índice con la actividad física y enfermedades crónicas como la diabetes, hipertensión y obesidad. El cálculo de este índice de accesibilidad se realiza mediante suma de valores estandarizados y los atributos que se consideraron para la creación de éste son: densidad residencial, conectividad, uso del suelo, y porcentaje de área comercial sobre área total de la zona. Investigadores como Dobesova & Krikvka (2012), Freeman et al., (2013); Reyer et al., (2014) también hicieron uso del índice anteriormente explicado para la aplicación de sus estudios.

Krambeck (2006) se basa en la aplicación de encuestas de percepción para medir la facilidad de caminar en una ciudad, entre los atributos se encuentran conflictos debido a distintos modos de transporte, seguridad al cruzar, percepción de seguridad ante el crimen, calidad de comportamiento de transporte motorizado, estado del andén, entre otros.

Moudon et al., (2006) aplicaron medidas percibidas y medidas objetivas para la construcción del índice, es decir, se consideran variables latentes (calidad visual, percepción de las instalaciones para caminata, grado de familiaridad con el ambiente construido y conflictos con los vehículos). Con base en esto, se estima un modelo Logit multinomial considerando como variable dependiente el tiempo en que una persona camina y las variables independientes, las variables latentes mencionadas anteriormente y variables objetivas como distancia al banco y escuela más cercanas, tamaño del barrio, entre otros.

Mantri (2008), usó variables como conectividad, accesibilidad hacia actividades diarias cercanas, densidad residencial, uso del suelo heterogéneo y seguridad, las cuales son fácilmente adaptadas a un sistema de información geográfica (SIG). Al final del estudio promediaron éstos valores para conocer el índice global.

Investigadores como Glazier et al., (2008) también incurrieron en el desarrollo de medidas de accesibilidad peatonal. En este estudio se establecen variables calculadas mediante análisis factorial, seguido por análisis de componentes principales, siendo el primer componente el índice en cuestión. Este índice fue establecido bajo tres niveles: nivel censo, nivel de área y nivel de bloque, en los tres niveles el índice fue consistente, por lo que se

demuestra su robustez. Por otra parte, se correlaciona con variables como número de carros en el hogar, número de carros por persona, flujo peatonal, BMI, % de obesidad y flujo vehicular, evidenciando una correlación significativa con estas variables.

Lacono et al., (2010) calibraron medidas de impedancia considerando como variable dependiente la fracción de viajes cubiertos por una distancia dada, y la independiente es la distancia de viaje.

Para la evaluación no sólo se aplican índices de accesibilidad peatonal usando análisis estadístico, también puede evaluarse mediante simulación basada en agentes. En este estudio, se considera un solo agente, el cual es programado para transitar por todos los lados de una red desde un punto hasta una distancia dada, considerando conflictos peatonales como: vías principales, ríos, edificios, y pendientes en la vía. Con esto es posible evaluar una medida isócrona como el "walk score" pero esta vez, considerando interacción con el ambiente construido (Badland et al., 2013). Asimismo, Yin (2013) evalúa el índice de accesibilidad peatonal mediante simulación basado en agentes, aunque en esta metodología se consideró más de un agente.

Lee et al., (2013) usaron el proceso analítico jerárquico (AHP) para construir su índice de "walk score" mediante encuestas a expertos. Se concluyó que éste índice es más diciente que el propuesto por el HCM porque considera no sólo factores cuantitativos, sino también cualitativos. Además se realiza una encuesta preliminar para conocer la percepción de los peatones y seleccionar los factores que componen el "walk score".

"Pedestrian environment index" (PEI) es construido mediante cuatro sub-índices seleccionados según las investigaciones realizadas por Parks y Schoger (2006), debido a que capturan aspectos relevantes del diseño urbano peatonal. El índice se modela mediante la multiplicación de estos sub-índices. En el estudio se realiza una aplicación en Chicago y se concluye que el índice creado tiene concordancia con las expectativas generales basadas en el conocimiento previo acerca de la configuración urbana actual de la ciudad (Peiravian, Derrible, & Ijaz, 2014)

Blečić et al., (2015) desarrollaron un sistema de soporte de decisión (DSS) para evaluar la facilidad de caminata. El DSS es llamado "Walkability explorer" que se trata de un software que modela la accesibilidad peatonal mediante dos métodos: la maximización de la utilidad y la asignación de ratings a cada punto en el espacio considerando la distancia y la calidad en el acceso a cada destino.

También, puede ser usada la regresión multivariada para modelar el índice de accesibilidad peatonal. Por ejemplo, Özbil et al., (2015) establecieron variables relacionadas con el diseño de vías, configuración de la red y usos del suelo para explicar que el lugar donde se genera más viajes, puede deberse a este tipo de parámetros.

A su vez, el índice de accesibilidad peatonal establecido por Frank et al., (2006) explica la actividad física mediante distintos modelos de regresión. Wei et al., (2016), realizaron una investigación usando un modelo Logit ordinal para la relación de éstas dos variables.

De manera más simple, el índice de accesibilidad peatonal puede ser construido estableciendo patrones en cada zona y así conocer las características de éstas. Para ello primero se zonifica según los espacios basados en actividades. Luego, se establecen cuadrantes según la media, la desviación y el índice de Moran de cada factor en cada zona. Al final se comparan espacialmente según el cuadrante al que pertenezca cada zona (Tribby et al., 2016).

Algunos autores comparan distintas medidas con el fin de establecer cuáles son los factores más importantes, buscando identificar cuál metodología es mejor o cual debería ser la configuración de la red.

Por ejemplo, en un estudio se aplican distintas medidas para comparar las redes peatonales y las redes viales. Se concluyó que el índice LNR (link to node ratio) no es adecuado para establecer la comparación entre la infraestructura peatonal y vial, porque la creación de una nueva línea peatonal puede reducir el valor de éste, reflejando grandes diferencias en el valor del índice cuando se aplica a redes suburbanas. Al contrario del LNR, el "pedshed method" representa diferencias significativas al aplicar la red peatonal y la red vial (Tal & Handy, 2012).

En el caso de Vargo et al., (2012), compararon índices compuestos con indicadores singulares, concluyendo que los índices compuestos explican mejor la demanda de viajes que los indicadores por separado. El índice de accesibilidad peatonal compuesto Krizek NA se realiza mediante combinación lineal a través de componentes principales. Mientras que, el índice compuesto SEQOL se realiza mediante promedio con igual peso por cada factor. A pesar de sus diferencias, la capacidad predictiva de ambos es similar, pero se argumenta que es mejor usar SEQOL debido a su facilidad de construcción.

Por otro lado, el atributo de conectividad considera gran cantidad de formas de calcularse. Ellis et al. (2016) tenía como objetivo de investigación, conocer cual es la mejor medida de conectividad, realizando comparaciones con seis índices de conectividad en redes peatonales. Se concluyó que la densidad de la intersección y "metric reach" son las medidas que expresan mayor correlación con el tiempo de viaje. Mientras que, "pedshe", "Link-node ratio", y "pedestrian route directness" no presentan un buen desempeño para medir conectividad según este estudio, dado su correlación poco significativa con esta variable topológica.

De manera similar al estudio anterior, se compararon la densidad poblacional, los usos del suelo y el área construida con los resultados de los indicadores, resultando las siguientes afirmaciones: Gamma (Número de segmentos vs. Máximo número de segmentos) y alpha (Número de circuitos vs. Número de posibles circuitos) no son ideoneos para medir la accesibilidad peatonal, mientras que densidad de nodos y dimensión de bloques son más apropiados. A su vez, el tipo de vía no describe el índice de accesibilidad en un área de estudio y el índice de ped-shed method que mejor explica el nivel de acceso peatonal es el que considera demoras en las intersecciones (Gori, Nigro, & Petrelli, 2014).

Además, se comparó el índice llamado "SAQI" que mide la condición del andén y "NAI" que calcula la conectividad. Para ello se realizó una regresión multivariada considerando la demanda de viajes como variable dependiente. Se encuentra que el coeficiente de la condición del andén es negativo, mientras que el de conectividad es positivo. Por tanto se obtuvo la afirmación que la gente camina independientemente de la calidad de la acera, pero siempre y cuando las aceras se encuentren conectadas adecuadamente (Woldeamanuel & Kent, 2015).

Dentro de los índices macro, los cuales priorizan inversiones en infraestructura peatonal se encuentra el índice desarrollado por Sayyadi y Awashti (2013), construido mediante el uso de análisis AHP, considerando indicadores cualitativos. En este estudio se concluyó que la mejor inversión en infraestructura peatonal debe llevarse a cabo en el centro de la ciudad (downtown de la ciudad). Los resultados son relativamente insensibles a un cambio en pesos de los atributos.

Franckelton (2013) realizó una metodología para priorizar infraestructura peatonal en una zona mediante dos índices llamados "Pedestrian Potential Index" (PPI) y "Pedestrian Deficiency Index" (PDI). Este estudio concluyó que las áreas con alto PPI (Nivel de demanda de viajes) y PDI (Nivel de deficiencias en la oferta de viajes), deberían ser priorizadas. La recopilación de datos es mediante un aplicación de Android para evaluar la condición del andén de manera rápida y con bajo costo. Mientras que, la modelación es el promedio ponderado de los

factores que afectan a cada índice. En otra investigación este mismo autores hace uso de la misma aplicación Android llamada "Sidewalk Sentry" para recopilar la información, aunque en esta oportunidad, el índice se crea a partir de relacionar estadísticamente la valoración de los expertos sobre cada atributo y los parámetros observados mediante análisis de clúster.

De manera similar, innovaciones en la recopilación de información son establecidas en la literatura. Por ejemplo, se realizó un estudio usando Google Street View para medir las medidas de visibilidad en una vía mediante algoritmos neurales de redes artificiales. En este estudio consideraron un gran número de datos para la cuantificación de éstas variables difíciles de medir (Li Yin & Wang, 2016).

Los índices mencionados con anterioridad consideran cualquier tipo de polígono, como la unidad de análisis. Pero en estos siguientes casos, los índices son aplicados a segmentos de línea, por lo que la investigación se realiza de manera desagregada. Por ejemplo, la medida "HPE's walkability index" es construida mediante asignación de puntos según el criterio de los autores y al final se promedia cada punto según el valor del atributo (Hall, 2010).

Además de aplicar asignación de puntos para construir un índice de accesibilidad peatonal, se puede considerar el proceso de red analítica (ANP), el cual es una forma más general de AHP, diferenciándose en que se establece interdependencia entre los factores que constituyen el índice (Ha, Joo, & Jun, 2011).

De igual manera, Wey y Chiu (2013) aplicaron ANP para establecer el índice en cuestión. En este caso se usa la casa de la calidad (House of quality) para definir las relaciones entre los atributos y evaluar la importancia de cada uno de éstos.

En otro estudio se construyó un índice sobre caminabilidad hacia hospitales o puestos de salud, aplicado a personas mayores de edad. Al igual que Hall (2010), realizaron una evaluación de distintos indicadores mediante asignación de puntos. En este caso, no se evalúa el tramo, sino que cada indicador se evalúa en una escala ordinal entre 1-5 y al final se suma en promedio los valores de uno de éstos. Los resultados se analizaron mediante el uso de mapas y un gráfico de radar para observar las mejoras que se deben realizar según el nivel de cada indicador (Loo & Lam, 2012).

Kubat et al., (2013) aplicaron modelos de regresión para analizar la relación entre medidas de conectividad, usos del suelo y demanda peatonal. Se estableció que cuando la ruta es más directa y se presenta mayor variedad de usos del suelo, entonces aumenta la densidad peatonal en dicha zona. Asimismo, Lerman et al., (2014) aplicaron modelos de regresión para analizar movimiento de peatones, aunque en este caso se identificaron puntos o segmentos conflictivos entre carros y peatones.

Por otro lado, los índices a nivel micro son usados para estimar la probabilidad de escoger la opción de caminar en vez de elegir el carro como modo de transporte para llegar hacia una estación de tren en California (S. Park, Choi, & Lee, 2015). En esta investigación aplicaron el índice de accesibilidad peatonal como atributo dentro del modelo de elección modal. Para la construcción del índice, los autores realizaron un modelo operacional deductivo que consta de encuestas de percepción y regresión lineal (S. Park, Deakin, & Lee, 2014).

En un estudio realizado en estos últimos años se diseñó una metodología para la construcción de un índice que contenía una gran cantidad de atributos. Esta consistió en definir el índice por tipo de usuario, estudio que no se había realizado anteriormente por ningún autor. En su método de construcción, consideran la percepción de los atributos del índice aplicando encuesta a expertos modeladas mediante análisis conjunto (Moura, Cambra, & Gonçalves, 2017).

Por otra parte, no necesariamente se debe construir un índice para medir la facilidad a caminar en una zona específica. Por ejemplo, autores desarrollaron distintas metodologías

para comparar indicadores de accesibilidad peatonal. Entre ellas se encuentra correlacionar la demanda de viajes a pie con percepción de las personas sobre cada atributo que induce a que las personas caminen según Alfonso (2005) o (Mehta, 2008)

Además, estos índices son usados para priorizar inversión en infraestructura como Swords et al., (2004), el cual compara dos indicadores: Índice de demanda potencial de peatones (PPI) desarrollado por (Matley et al., 2000), y un índice de oferta de viajes construido mediante elementos que impiden a los peatones caminar en una vía.

Kelly et al., (2011) compararon tres metodologías para evaluar la caminabilidad en una zona, realizaron tres tipos de encuestas. La primera encuesta es preferencias declaradas, en la cual se presentan escenarios hipotéticos de rutas a los peatones, y éstos escogen entre dos opciones de ruta. Los escenarios varían según los niveles de cada atributo evaluado. En cambio, en las encuestas reveladas, el peatón evalúa la calle dependiendo cada atributo, seleccionando entre 1-5 siendo 1 (muy malo) y 5 muy bueno). El tercer procedimiento es método móvil, el cual involucra un paseo acompañado de un entrevistador que graba digitalmente, permitiendo detallar la experiencia de caminar. Las preguntas de este tipo de encuesta están relacionadas con la facilidad de uso de la acera y la interacción con otros usuarios y modos de transporte.

Sayyadi y Awashti (2013), Beller y Phillips (2016) usaron análisis multi-criterio (AHP) para priorizar infraestructura peatonal considerando encuesta de percepción a expertos, aunque en este caso el análisis es desagregado, porque se consideran segmentos de recta, en vez de zonas.

2.3.2. Nivel de servicio peatonal

El nivel de servicio peatonal es definido como la medida global de las condiciones para caminar en una ruta, camino o instalación, es decir, su unidad de análisis espacial es a nivel micro (Gallin, 2001); (B. W. Landis et al., 2001).

Para la construcción del índice se consideraron atributos como velocidad, tiempo de viaje, volumen vehicular, comodidad y conveniencia (HCM, 2000). El primer nivel de servicio peatonal calibrado mediante la percepción de los usuarios, fue introducido por Khisty (1994), aunque entre los índices más importantes se encuentran: (a) "Australian Method" (Gallin, 2001), (b) HCM method, (c) "Trip Quality Method" (Jaskiewicz, 2000), (d) "Landis Method" (B. W. Landis et al., 2001) y (e) "Tan Dandan Method" (Dandan, Wei, Jian, & Yang, 2007).

Los índices desarrollados por Gallin (2001) y Jaskiewicz, (2000) no consideran percepción de los usuarios, y su modelación es el promedio ponderado de los valores de cada atributo, donde el peso de cada uno es establecido con respecto a la percepción de expertos. Por su parte, Landis et al. (2001), Dandan et al., (2007) consideraron la percepción de los usuarios mediante encuestas de preferencias reveladas, y se calibraron mediante métodos de regresión. Sin embargo, según un estudio realizado por Hasan et al., (2015) concluyeron que los índices que mejor explican la percepción de los usuarios son los que consideran los atributos más importantes según los encuestados. Entre los cinco mejores índices está el llamado "Australian Method", debido a que contiene en su evaluación siete de ocho atributos más importantes, seguido por "Trip Quality Method", y por último, el índice desarrollado por HCM, 2000.

El nivel de servicio peatonal puede ser construido mediante regresiones discretas o continuas con uso de encuestas de preferencias declaradas o reveladas (Jensen, 2007); (S. Kim, Choi, & Kim, 2013); (Muraleetharan & Hagiwara, 2007), asignación de puntos mediante encuestas de percepción con atributos relacionados con la calidad del diseño urbano, los

cuales afectan el nivel de servicio de los andenes (Talavera-Garcia & Soria-Lara, 2015), o asignación de puntos mediante observación (Jaskiewicz, 2000).

La medida realizada por Dixon (1996) se desarrolló mediante un sistema de puntos asignados según el criterio de los autores. En este caso, no realizaron un método de calibración estadístico, sólo consideraron un análisis de sensibilidad basados en el acta de americanos con discapacidad (ADA, 1991). Al finalizar, se estableció el nivel de servicio entre A-F descrito conforme el criterio del manual ADA.

Emery et al., (2003) desarrollaron un instrumento para evaluar los andenes en una zona urbana, asignando un valor a cada atributo. Pero en este caso, se valida la herramienta, comparando los resultados obtenidos por distintos expertos en el tema.

En los estudios realizados por Guttenplan et al., (2001) y Gutttenplan et al., (2003) aplicaron la medida PLOS del manual de nivel de servicio desarrollado por el departamento federal de transporte (FDOT), originalmente desarrollado por Landis et al. (2001) para establecer una medida de nivel de servicio multimodal. Asimismo, Sharma et al., (2008) consideraron los mismos índices para calcular el nivel de servicio multimodal. En este caso, se hace uso de la técnica multi-criterio AHP para establecer los pesos de cada índice.

Elias (2011) compara dos tipos de calles: calle orientada a vehículos y calle completa que es una vía con espacio para peatones, bicicletas y carros haciendo uso también de los índices desarrollados por FDOT. El autor concluyó que una calle completa, es decir diseñada con todos los tipos de transporte, aumenta el PLOS, aunque disminuye el nivel de servicio vehicular. Aun así, el decremento no es significativo, por lo que la mejor manera de diseñar una vía es considerando el diseño de una calle completa.

Al igual que el estudio mencionado con anterioridad, Lowry et al., (2011) diseñaron una metodología para evaluar el rendimiento de una vía completa, considerando el nivel de servicio vehicular, peatonal, para bicicletas y buses. En este caso, se realizó el cálculo de los cuatro distintos LOS mediante asignación de puntos, aplicando una encuesta de percepción, en la cual cada pregunta tiene su peso. Luego, el LOS actual de cada segmento de vía se comparó con el valor que debería tener dicha vía llamado "Desired profile", el cual se construyó considerando manuales de diseño de vías.

Otro tipo de estudio que no considera asignación de puntos como método de construcción del índice, es la investigación realizada por Muraleetharan et al., (2004). En esta desarrollaron un índice de servicio peatonal llamado "overall level of service". Éste considera tanto el segmento como las intersecciones como sus unidades de análisis. Para su construcción se aplicó la técnica de análisis conjunto con encuestas de preferencias declaradas. Dichas encuestas son distintas cartillas que son evaluadas entre 0-10, donde 10 es que la calle o la intersección es buena para caminar. Para calcular los valores de las utilidades se usa regresión lineal con variables dummy como independiente, las cuales son el nivel de cada atributo; mientras que, las variables dependientes son el resultado de la encuesta de preferencias declaradas.

Con la misma metodología anterior, Muraleetharan y Hagiwara (2007) calcularon el "overall LOS", donde el peor escenario es la suma de las menores valores de los utilidades de los niveles de cada atributo. En este caso, el LOS toma valor de 0, mientras que el mejor escenario se le asigna el valor de 6, aunque en esta oportunidad este índice se aplica a un modelo de elección de ruta considerando este índice como variable independiente.

En el índice anterior se asumía linealidad para el cálculo del índice. El índice llamado "Danish Model" realizado por Jensen (2007), se construyó a partir de regresión, aunque en este caso se aplica el modelo logístico acumulativo (CLM), considerando una ecuación no lineal. La variable independiente es el resultado de la encuesta de preferencias reveladas.

Dowling et al., (2008) compararon tres tipos de medidas de BLOS con el resultado de las encuestas realizadas mediante videoclips. Dos de ellas se construyen mediante modelos de regresión y la otra medida es desarrollada por HCM (2000). Las medidas realizadas mediante el modelo de regresión son construidas con la misma metodología aplicada por Landis et al., (2001). Se identificó que los modelos de regresión reproducen de mejor manera las percepciones de los individuos que el HCM (2000). En ese caso, se incluye no sólo los segmentos de las vías sino las intersecciones para el análisis del nivel de servicio.

"Quality of service" (QOS) es un índice desarrollado por Kim et al., (2009). Para su construcción desarrollaron una encuesta de preferencias reveladas a expertos mediante fotos para investigar la percepción de cada atributo. Luego, mediante AHP y ANP, se establecieron los pesos de cada uno de los atributos y se compararon estas técnicas concluyendo que mejor es el ANP, debido a que los peatones toman decisiones después de asociar entre sí todas las situaciones. Por tanto, se puede afirmar que la percepción de los elementos o atributos del andén son dependientes entre sí.

En la línea de construcción de índices basados en asignación de puntos, se encuentra un modelo para estimar el nivel de servicio peatonal. Para ello se realizaron una encuesta preliminar de percepción para conocer los componentes más importantes que influyen en una persona al momento de caminar. Luego, establecieron la importancia de cada atributo asociado a cada componente considerando una escala del 1-6 determinada por los autores. Seguidamente, cada puntuación del atributo varía entre 0-2 según el manual proporcionado por la legislación Griega (Christopoulou & Pitsiava-Latinopoulou, 2012).

Asadi-Shekari et al., (2013a) aplicaron asignación de puntos para construir el índice llamado **"Disabled Pedestrian level of service"**, aunque en este caso se utilizan los manuales de diseño de infraestructura para personas en condición de discapacidad, calculando los pesos de cada factor que influye en nivel de servicio. Estos pesos son dependiendo de la profundidad de evaluación de cada indicador en los manuales. De manera similar, Asadi-Shekari et al.,(2015) realizó el mismo procedimiento para construir un índice que mide el grado de seguridad de caminar en una vía, considerando solamente los peatones sin condición de discapacidad.

Por otra parte, PLOS es construido en Korea mediante regresión lineal, donde la variable dependiente es el resultado de la encuesta de preferencias reveladas que consiste en escoger un tramo de vía y preguntar a los peatones el grado de satisfacción de caminar por dicha calle en una escala 1-6. **Este índice se compara con el manual de "Korean Highway capacity manual", concluyendo que el índice construido es el que mejor se ajusta a las percepciones de los usuarios (S. Kim et al., 2013).** Igualmente, Daniel et al.,(2016) desarrollaron la medida de FOOT-LOS mediante regresión lineal. El aspecto innovador de este estudio es que la clasificación se realiza mediante "rating stars", siendo de esta manera posible su incorporación a Google maps.

Talavera – Garcia y Soria – Lara (2015) **construyeron un índice "QPLOS" que considera variables sobre la calidad del ambiente construido.** Para su desarrollo, realizaron una encuesta de percepción donde cada atributo o factor se evalúa de 1-5. Luego, asignaron un peso a cada atributo según el resultado de la encuesta construyendo un promedio ponderado como nivel de servicio peatonal.

2.3.3. Índice de accesibilidad para bicicletas

La medida de accesibilidad también es usada para evaluar la red de bicicletas, considerando aspectos de comodidad, conveniencia y acceso a destinos importantes (M. B. Lowry et al., 2012). La modelación de los índices se realiza mediante ajustes de las fórmulas de accesibilidad tradicionales (Iacono et al., 2010; M. B. Lowry et al., 2012; McNeil, 2011) o mediante la suma, promedio de atributos que afectan la accesibilidad de ciclistas (Van Dyck et al., 2012); (Winters, Brauer, Setton, & Teschke, 2013); (Krenn, Oja, & Titze, 2015). Su unidad de análisis es a nivel zonal (barrio o celda), dependiendo del tipo de datos en el que se realiza el estudio.

La medida fue aplicada en el estudio realizado por Iacono (2010). Este autor calibra diferentes medidas de impedancia mediante la relación exponencial de porcentaje de viajes y de distancia entre par origen-destino. Esta medida fue desarrollada originalmente para peatones (Hansen, 1959).

McNeil (2011) estableció un método basado en asignar puntos a cada tipo de destino y al final se suman todos los puntos en un área de 20 minutos, la cual es establecida según la **velocidad de una bicicleta**. En conclusión, es una medida isócrona como la usada en el “Walk Score”.

Lowry et al., (2012) en su estudio no consideró la percepción de los ciclistas, en cambio estableció una medida de accesibilidad gravitacional propuesta por Hansen (1959). El autor propuso que la medida de impedancia sea el nivel de servicio para ciclistas (BLOS) explicada en HCM (2000). Esta medida está ponderada por la longitud del tramo y se combina con un índice de accesibilidad para ciclistas para generar una medida que evalúa el nivel de percepción de comodidad, seguridad y accesibilidad a destinos importantes de un ciclista en una zona en específico.

Van Dyck et al., (2012) realizaron un modelo aditivo generalizado mixto (GAMM) para relacionar los minutos de duración en bicicleta en un barrio con variables socioeconómicas y **un índice llamado “cyclability” en cada barrio**. Este índice es la suma de las puntuaciones estándar de los factores del ambiente construido. En su estudio, los factores son cualitativos debido a que son el promedio de las puntuaciones de una encuesta de percepción.

Winters et al., (2013) realizaron una encuesta de percepción a usuarios y grupos focales, para determinar los factores que más influyen en la comodidad de un ciclista en una vía. Según el valor de los factores seleccionados, se asigna la puntuación de la medida de accesibilidad para ciclistas a cada zona según la encuesta explicada. Este índice se valida mediante la correlación del índice con variables como demanda de viajes o la medida de accesibilidad peatonal desarrollado por Frank et al., (2006). En este estudio se concluyó que existe correlación positiva entre demanda de viajes y el índice de accesibilidad para ciclistas. Asimismo, la correlación entre accesibilidad peatonal y accesibilidad para ciclistas también es positiva y significativa.

Kreen et al., (2015) construyeron la medida de accesibilidad para ciclistas mediante la asignación de puntos a factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta, de manera similar que el estudio realizado por Winters et al., (2013). La diferencia es que los factores son presencia de infraestructura para ciclistas, presencia de ciclo-pista segregado, vías principales, zonas verdes y topografía. Para la validación realizaron una regresión logística entre el índice de accesibilidad para bicicletas y comportamiento de los ciclistas, concluyendo que si el valor del índice de bicicletas incrementa en una unidad, la probabilidad para los ciclistas en este barrio se incrementaría en un 8%.

Otra metodología basada en mapas cognitivos es usada para evaluar el grado de satisfacción de manejar bicicleta en una vía. En este estudio se usaron encuestas de

percepción que consisten en dibujar señales y objetos que recuerden la ruta en la que se maneja la bicicleta y decir cuál es el mejor segmento de la ruta según su percepción de seguridad, comodidad y atraktividad. Además, en la encuesta se tienen ciertas señales que evalúan distintos factores. Las señales corresponden a atributos como el sentido del lugar, facilidad de acceso y sentimiento de seguridad (Hawkins, 2014)

Los estudios sobre priorización de infraestructura para bicicletas consisten en comparar proyectos propuestos de infraestructura para ciclistas mediante el uso de los índices de accesibilidad. Por ejemplo, Larsen et al.,(2013) **diseñó una medida llamada "priorization index"**, la cual establece las zonas en las que se deberían priorizar inversión en infraestructura para ciclistas. Este índice es el promedio de los factores que afectan la demanda de ciclistas en una vía, incluyendo la percepción de los usuarios en la construcción del índice.

Lowry et al., (2016) compararon las medidas de índice de accesibilidad para ciclistas e índice de nivel de servicio peatonal para priorizar inversión en infraestructura vial. El índice de accesibilidad para bicicletas es una medida de accesibilidad definida como el porcentaje de lugares a los que es posible acceder mediante vías con bajo índice de estrés para los ciclistas, mientras que, el índice de nivel de servicio para bicicletas es una medida llamada centralidad usada por McDaniel et al.,(2014).

En el contexto de comparación de distintas medidas de accesibilidad, Iseki y Tingstrom (2013) contrastaron diferentes medidas isócronas, donde cada una se diferencia entre sí, aplicando una medida de impedancia distinta (longitud del segmento y energía consumida por ciclistas). En esta última medida de impedancia se puede incluir pendientes absolutas, pendientes relativas e impedancia en las intersecciones.

En general, las medidas de accesibilidad para bicicletas son usadas para medir la accesibilidad a un destino mediante el uso de la bicicleta como modo de transporte. Además, en la literatura se identificó que se pueden construir mediante la aplicación de medidas de accesibilidad como las isócronas y gravitacional, haciendo uso de medidas de impedancia como nivel de servicio peatonal, energía consumida por los ciclistas en el viaje o tiempo/distancia del viaje. Para finalizar, muy pocos autores consideran la percepción de los ciclistas mediante este tipo de modelación, excepto el estudio realizado por Van Dyck et al.,(2012).

2.3.4. Nivel de servicio para bicicletas

El nivel de servicio de bicicletas (BLOS) mide el nivel de satisfacción de un individuo con respecto a una sección de vía para bicicletas. En general, mide la percepción de comodidad y seguridad de una sección de vía para ciclistas. (El término vía incluye caminos de uso compartido y cualquier carretera donde se permite el recorrido de la bicicleta) (M. B. Lowry et al., 2012).

Esta medida fue introducida por Davis (1987), la cual es una fórmula que relaciona la seguridad vial en bicicletas medida como número de accidentes en la vía con variables asociadas a volumen vehicular, uso del suelo, condiciones del pavimento y ancho de la vía. En la literatura no se especifica cuál fue el método usado para la asociación de estas variables, ni se ha validado con datos sobre accidentalidad (Hawkins, 2014). Esto conlleva a que el índice sea poco confiable, por su falta de calibración (Bruce W. Landis, 1994). Aun así, en un estudio desarrollado por Emery et al.,(2003) establecieron el grado de conveniencia del índice desarrollado por Davis J (1987). Para la validación de éste, se consideró la percepción de distintos individuos sobre la vía evaluada y mediante análisis de correlación Pearson y

correlación intraclass de los datos recolectados, se estableció la confiabilidad de la herramienta.

Entre los modelos cercanos al desarrollado por Davis, J, se encuentra el índice "Roadway condition index" (RCI) (Epperson, 1994), el cual es una medida de seguridad para los ciclistas sensible a las variaciones del ancho de los carriles y velocidad vehicular, y poco sensible a cambios con el volumen vehicular, siendo validado con datos de accidentalidad.

Sorton y Walsh (1994) diseñaron el índice de "Bicycle street level" explicado primeramente por Geelong Bikeplan (1978). Esta medida es establecida en una escala ordinal entre 1-5 dada por el grado de estrés por manejar bicicleta en una vía. Cada nivel es definido por el autor y la modelación es un promedio ponderado de los atributos que afectan la decisión de manejar bicicleta en una vía. Estos pesos de cada factor son establecidos según el criterio de autores y manuales o guías de transporte. La validación es desarrollada con encuestas a los usuarios de bicicletas por medio de videoclips, los cuales califican estos segmentos de carretera reflejando el nivel de estrés al transportarse mediante este modo de transporte. De igual manera, la medida realizada por Dixon (1996) fue diseñada mediante un sistema de puntos, asignados según el criterio de los autores y no realizan un método de calibración estadístico. En este caso sólo considera un análisis de sensibilidad, según el criterio de Wilkinson et al. (1994) y el acta de americanos con discapacidad (ADA). Al final según la puntuación de la medida, se establece el nivel de servicio entre A-F descrito conforme el criterio del manual ADA.

Dentro de los primeros índices también se encuentra "Bicycle Interaction Hazard Score" desarrollado por Landis (1994), siguiendo la fórmula establecida por Davis J (1987) y Epperson (1994) aunque en este caso se consideran parámetros de calibración. En el estudio la medida no fue calibrada teniendo en cuenta la percepción de los usuarios sino que fue ajustado por los autores según un análisis de sensibilidad, en general fue ajustado mediante el criterio de los autores.

Pero, en posteriores estudios, se propone un método de calibración, el cual fue desarrollado por Landis (1997), en su metodología incurre en escoger segmentos de vía aleatoriamente en la ciudad, y seleccionar voluntarios para que manejen bicicleta en dicha vía, luego se realiza una encuesta preferencias reveladas a los ciclistas que consiste en calificar la vía con en una escala de Lickert, en términos de comodidad y seguridad, con base a esa calificación y atributos de las condiciones viales y seguridad vial se realiza una regresión lineal para construir el índice BLOS. Al final se establece un rango con los resultados de la variable independiente para conocer el nivel de servicio, que varía entre A-F.

Siguiendo la misma línea de Landis, el índice de "Bicycle Compatibility index" (Harkey, Reinfurt, & Knuiman, 1998) es calibrada considerando la percepción de peligro en las vías, debido a que se realiza una encuesta de preferencia reveladas mediante videoclips. Luego, se realiza una regresión lineal considerando la calificación de la vía obtenida de la encuesta como variable dependiente y factores relacionados con condiciones viales y de seguridad vial como variables independientes. En este caso se obtienen tres tipos de índices según el propósito del viaje: Trabajo/estudio, recreación frecuente o recreación esporádica.

Guthrie et al., (2001) también realiza una encuesta de preferencia revelada similar a el estudio desarrollado por Landis (1997). La diferencia radica en que se consideran factores objetivos y subjetivos, como por ejemplo, variables latentes como percepción de seguridad, confort, velocidad, esfuerzo, estética entre otros. Similar a los anteriores autores, se realizó una regresión lineal, donde la variable independiente es el resultado de la encuesta de percepción aplicada a personas en una zona de estudio.

Al igual que en los estudios sobre nivel de servicio peatonal, Guttenplan et al.,(2001), Gutttenplan et al.,(2003) aplicaron la medida, pero en este caso enfocada a ciclistas. Esta fue

extraída del manual de nivel de servicio desarrollado por el departamento federal de transporte (FDOT), originalmente desarrollada por Landis (1997). El objetivo es establecer un índice global multimodal.

En la línea de índices que miden la seguridad de manejar bicicleta en una vía, la medida de **"bicycle route safety"** define el grado de seguridad vial mediante el valor esperado de los accidentes predichos en una vía. La metodología de construcción se basa en realizar una regresión logística que relaciona el número de accidentes con variables como ancho de la vía, volumen vehicular, sentido de la vía, condición del pavimento, entre otros (Allen-Munley, Daniel, & Dhar, 2004).

Entre los índices que se construyen a partir de regresiones y uso de encuestas de preferencias reveladas, el índice llamado **"Danish Model"** realizado por Jensen (2007) también se construye a partir de regresión. En este caso se aplica el modelo logístico acumulativo (CLM), el cual asocia la percepción del grado de satisfacción por manejar bicicleta en una vía y factores asociados al ambiente construido.

De manera similar, Petritsch et al.,(2007), desarrollaron un índice a partir de una encuesta de preferencia reveladas, donde la escala de puntuación varía entre A-F según el criterio de los ciclistas. Se constituyó una regresión lineal, donde la variable dependiente es el resultado de la encuesta, mientras que las variables independientes son la medida BLOS del segmento de vía realizada por Landis et al.,(1997) y el número de intersecciones sin señalizar. Esta última medida es comparada con la medida desarrollada por HCM (2000), en una investigación realizada por Dowling et al.,(2008), en la cual se realizan encuestas mediante videoclips a ciclistas. Éstas encuestas se correlacionaron con el resultado de las medidas anteriormente explicadas y se concluyó que el mejor modelo es el realizado por Landis et al.,(1997) y mejorado por Petritsch et al.,(2007), debido a que reproducen de mejor manera las percepciones de los individuos que el HCM (2000).

En la línea de investigación, en el que se mejora el índice BLOS, autores como Callister y Lowry (2013) diseñaron una metodología que permita disminuir la cantidad de datos necesarios para calcularlo. En esta investigación se realizó un análisis a nivel ciudad del índice mencionado con anterioridad. Para ello, se selecciona una muestra de segmentos de vía para caracterizar las vías principales, secundarias, colectoras y locales de una ciudad, considerando todos los factores presentes en BLOS. Esto se realizó con el objetivo de generar datos confiables, con los cuales se calcule un BLOSiciente, y en el que se considere una eficiente metodología para la recolección de datos.

Parkin et al., (2007) construyeron dos tipos de índices. El primer índice consiste en evaluar el grado de riesgo al manejar bicicleta en una vía, y el segundo calcula el grado de aceptabilidad de una ruta. Para la construcción del primer índice, se aplica una encuesta en la que se pregunta qué tan riesgoso sería manejar bicicleta en dicha vía, mientras que, para el segundo índice, se pregunta si una ruta es considerada como aceptable o no para manejar bicicleta. Para la modelación de las encuestas se aplica un modelo logístico, que asocia el resultado de estas encuestas con variables que afectan la decisión de manejar bicicleta dado el nivel de riesgo en una vía.

Se realiza la medida **"Bicycle environmental Quality index"** (BEQI) (San Francisco Department of Public Health, 2009), considerando también la intersección como unidad de análisis al igual que Petritsch et al, aunque en este caso se realiza la encuesta considerando la percepción de los expertos, en vez de a usuarios.

Kang y Lee (2012) al igual que Jensen (2007), aplicaron un modelo de regresión considerando que la variable independiente es discreta. En este caso construyeron un modelo probit ordinal, a partir de datos extraídos de una encuesta de preferencias reveladas donde a

cada ciclista le preguntan entre el 1-6, el grado de satisfacción en dicha vía. En este caso se considera un índice segmentado según el tipo de viaje: Diario, trabajo o compras.

Medidas como **"Level traffic stress"** fueron creadas para disminuir la cantidad de datos necesarios para evaluar el nivel de servicio para bicicletas y así evitar que se recurra a una fórmula compleja que carezca de un significado concreto y claro. Su construcción es similar a la realizada por Sorton y Walsh, (1994), porque primero se define cada nivel de la medida según el Manual de Diseño de Tráfico de bicicletas (Groot, 2007). Luego, los autores valoraron cada segmento según el nivel de estrés presentado en éste. En este caso, los autores consideran un criterio distinto para cada tipo de vía. Al final, en la etapa de aplicación de la medida a una zona de estudio, se construyó el árbol de la ruta más corta (Máxima envergadura), y así se crearon clúster que posteriormente ayudan a establecer políticas de mejora en infraestructura vial (Mekuria, Furth, & Nixon, 2012).

Asadi-Shekari et al., (2015) aplican una metodología que también disminuye la cantidad de datos necesarios y tiempo para evaluar las instalaciones para bicicleta. En este estudio mediante asignación de puntos se construye el índice llamado **"Bicycle safety index"**, aunque en este caso se utilizan los manuales de diseño de infraestructura de bicicletas para calcular los pesos de cada indicador según manuales de diseño de infraestructura para bicicletas.

Dentro de los modelos de elección discreta, autores como Munro (2015) aplican encuestas de preferencias declaradas, basadas en escoger entre dos tipos de instalaciones de bicicletas. Aunque, de este modelo no se obtienen los niveles de servicio de bicicletas, se aplica unas preguntas de evaluación contingente sobre un factor importante del modelo en este caso la demora en llegar al destino, en este caso A es que me molesta la espera en la vía, F significa que no me molesta en absoluto.

Para la planificación y diseño de infraestructura para ciclistas usando medidas de accesibilidad se establecen distintos métodos, aplicando los índices contruidos por los autores mencionados con anterioridad. Por ejemplo, Swords et al., (2004) comparan dos indicadores: Índice de demanda potencial de ciclistas, considerando el modelo de estimación de demanda propuesto por Jones et al (2000), e índice de nivel de servicio para bicicletas desarrollado por Harkey et al., (1998), con el fin de establecer los tramos que se deberían priorizar, éstos tienen la característica de considerar alta demanda potencial y bajo o medio nivel de servicio para bicicletas.

Por su parte, Hochmair (2009), también considera índices formulados por otros autores para priorizar los tramos donde se debe mejorar el nivel de servicio para bicicletas, en este caso se aplica la fórmula del índice RCI para el cálculo del BLOS.

Asimismo, como Swords et al., (2004), los autores Rybarczyk y Wu (2010) planifican las instalaciones de bicicletas mediante el uso de indicadores de oferta y demanda de viajes. El indicador de oferta de viajes es el BLOS desarrollado por Landis et al., (1997) mientras que el indicador de demanda es construido mediante factores que explican la demanda de peatones en una vía como número de crímenes, colegios, parques, áreas de recreación, población entre otros. Estos índices son calculados a nivel de segmento de vía, luego estos índices se agregan y se realiza un análisis a nivel de barrio mediante el cálculo del índice de Moran para construir clúster en la zona de estudio y así aplicar estrategias de mejora en infraestructura vial.

La aplicación del BLOS establecido por Harkey et al., (1998) también es usada en el diseño de instalaciones para bicicletas en zonas urbanas, consiste en un modelo matemático que garantiza que exista al menos un camino entre cada par origen/destino en la que cada componente de la trayectoria se encuentra con un determinado nivel de servicio, este modelo es propuesto por Duthie & Unnikrishnan (2014).

Lowry et al., (2016) comparan las medidas de índice de accesibilidad para ciclistas y nivel de servicio para ciclistas. El índice de nivel de servicio para ciclistas es el mencionado "stress index, el cual se modela mediante los valores de tasa marginal de sustitución (MRS) extraídos de modelos de elección de ruta calibrados y analizados por Hood et al. (2011) y Broach et al., (2012) . Luego, se calcula el algoritmo de rutas mínimas con un nivel límite tolerado de estrés entre par origen-destino, y finalmente el índice de centralidad es la suma producto de la frecuencia de elección de un tramo de vía del algoritmo de rutas mínimas, densidad de la población y densidad del empleo, con este último se toma la decisión del orden en que las vías deben ser priorizadas.

Al contrario de las demás metodologías mencionadas que se aplican índices establecidos por otros autores, la planificación y diseño de infraestructura para ciclistas puede realizarse mediante métodos multi-criterio llamado proceso analítico jerárquico (AHP) y encuestas a expertos (Hsu & Lin, 2011) o mediante modelos de autómatas celulares basado en el concepto de "delayed passing events"(Botma, 1995);(Li et al., 2010).

A partir del análisis desarrollado en el capítulo 2, donde se explican cronológicamente las investigaciones relacionadas con la accesibilidad de transporte no motorizado, en general se puede afirmar que los autores en la literatura para la construcción de éstos índices consideran distintos atributos que afectan la decisión de caminar o manejar bicicleta, aun así al establecer la importancia de éstos no se considera la percepción de los usuarios con una estructura estadística fuerte, por ejemplo la última investigación realizada por Moura et al. (2017) realizan una encuesta y se modela mediante técnica de análisis conjunto para conocer cuáles son los atributos importantes que afectan la movilidad peatonal, aun así se realiza encuestas a expertos, no considera percepciones de los usuarios.

Además, en la literatura no se consideran índices diferenciados por propósito de viaje, tipo de usuario o características de los usuarios, excepto Moura et al. (2017) que considera que el índice es segmentado según el tipo de usuario: Adultos, niños, personas mayores de edad o con movilidad reducida, y tipo de viaje: Obligatorio o por placer, aun así no considera la percepción de usuarios para la creación de dicho índice.

La cuantificación de las variables o factores que afectan la accesibilidad de transporte no motorizado son subjetivas en muchos casos, y ningún autor ha realizado encuestas de variables latentes para medir factores no observables que afectan la accesibilidad de transporte no motorizado, donde el nivel de análisis sea un segmento de arco.

En el ámbito de priorización de infraestructura vial, la metodología básicamente es comparación entre índices de demanda y de oferta de viajes, sin considerar ambos factores en un mismo índice o establecer estadísticamente una propuesta considerando variables del ambiente construido y la conectividad entre zonas económicas importantes en una ciudad.

3. Metodología de diseño de índices de accesibilidad para transporte no motorizado

La contribución según la de este proyecto según la literatura es la metodología de diseño de éste. En los estudios anteriores presentados en la revisión literaria no se realiza un índice por tipo de ciclista o por tipo de peatón, es decir que en este caso se consideran distintos índices según las variables socioeconómicas y el propósito del viaje, este último para el caso de los ciclistas.

Los índices que mejor explican la percepción de los usuarios son los que consideran gran cantidad de atributos, según Hasan, (2015) realiza una investigación donde establece que los atributos más importantes son la seguridad ante robos, presencia de otros usuarios, presencia de árboles, condición del pavimento, obstrucciones y presencia de instalaciones de cruce peatonal que se deben considerar, además uno de los desafíos para este tipo de índice es considerar gran cantidad de atributos según componentes de comodidad, seguridad vial, seguridad ante robos y conveniencia (Asadi-Shekari, Moeinaddini, & Shah, 2013b).

Por lo cual, el índice a construir debe contener cuantiosos atributos para su construcción y atributos claves que afecten el grado de comodidad al caminar o manejar bicicleta en una vía, además establecer un índice para cada tipo de usuario.

Por ello, la manera más sencilla que se plantea es realizar un índice como una suma ponderada de los atributos seleccionados según la revisión literaria, donde el peso de cada atributo se construya basada en encuestas a los usuarios en una zona de estudio.

Para su construcción se plantea una metodología de diseño, donde se presentan las siguientes etapas mostradas en la Figura 2.

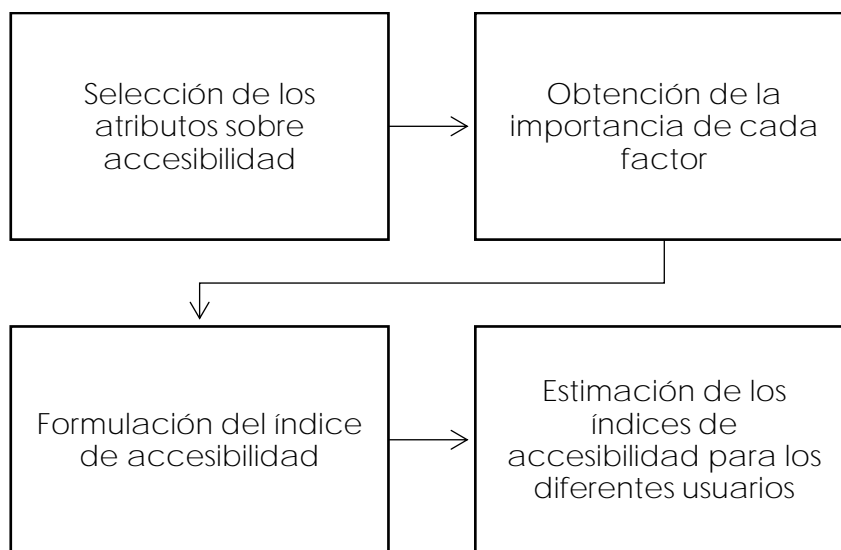


Figura 2. Metodología de construcción del Índice de accesibilidad

El primer paso consta de seleccionar los atributos según la revisión literaria. La obtención de la importancia de cada factor se realiza mediante el diseño de encuestas de percepción tipo explosión del ranking. En este caso se analizan las encuestas mediante modelos MNL,

puede usarse otro tipo de modelos como Logit Mixto o Logit Jerárquico, entre otro tipo de regresiones.

Luego, se formula el índice de accesibilidad de transporte no motorizado, considerando el resultado de las encuestas de percepción y la descripción matemática de cada atributo que incide en la decisión de las personas a usar este tipo de transporte. Finalmente, se estiman los índices aplicados a una zona de estudio.

Al construir este índice se pueden evaluar políticas de mejora de infraestructura de transporte al contrastar la oferta, que en este caso se representaría con el índice, y la demanda de viajes mediante un modelo de demanda directa de viajes.

3.1. Selección de factores que afectan la accesibilidad de transporte no motorizado

La selección de factores que afectan la accesibilidad se realiza una clasificación de los artículos como se muestra en el ANEXO 3 y ANEXO 4, en la casilla (Método de clasificación de factores). Estos métodos para seleccionar los factores son realizados por medio de encuestas a usuarios, revisiones literarias o según el criterio de autores o expertos. En este caso, se realiza la selección de los factores mediante la revisión de la literatura. Se revisan 100 artículos, en los cuales 40 artículos presentan estudios sobre medidas de accesibilidad en bicicletas, mientras que 60 artículos tienen como objetivo aplicar o construir medidas sobre "caminabilidad".

El criterio de selección de los factores que afectan la accesibilidad de transporte no motorizado se establece considerando la frecuencia de uso de los factores en los diferentes artículos publicados.

Seguidamente, se realiza una encuesta de percepción con datos de jerarquización para conocer cuáles son los factores más importantes según la selección establecida. Con base a la encuesta se realiza un modelo de elección discreta para posteriormente obtener los pesos de cada atributo. En este caso, no se considera el criterio de los autores del índice para tomar la decisión de cual atributo seleccionar.

3.1.1. Factores que afectan la accesibilidad peatonal

En el estudio peatonal se establece un índice que mide la calidad del ambiente construido percibido por los individuos y el grado en que la infraestructura peatonal satisface las necesidades de un peatón. El primer paso de esta metodología consiste en seleccionar los atributos más importantes que afectan la accesibilidad peatonal. Un total de 60 artículos fueron revisados.

Los factores fueron agrupados de acuerdo a las necesidades al caminar establecidas por Alfonso (2005): Movilidad peatonal, seguridad ante robos, seguridad ante accidentes, comodidad y sentimiento de placer, es decir Atractividad, al igual como realiza Talavera y Soria-Lara (2015) en su estudio para seleccionar los atributos del índice de accesibilidad peatonal hacia estaciones de transporte público.

La pirámide de necesidades para el peatón sigue un orden jerárquico. El primer nivel de la jerarquía es la accesibilidad, el cual se refiere a la facilidad de un peatón para acceder a la estructura urbana y llegar a su destino deseado. Para seleccionar los atributos que posiblemente describan este factor se realizan gráficas que exponen la frecuencia de uso de cada factor.

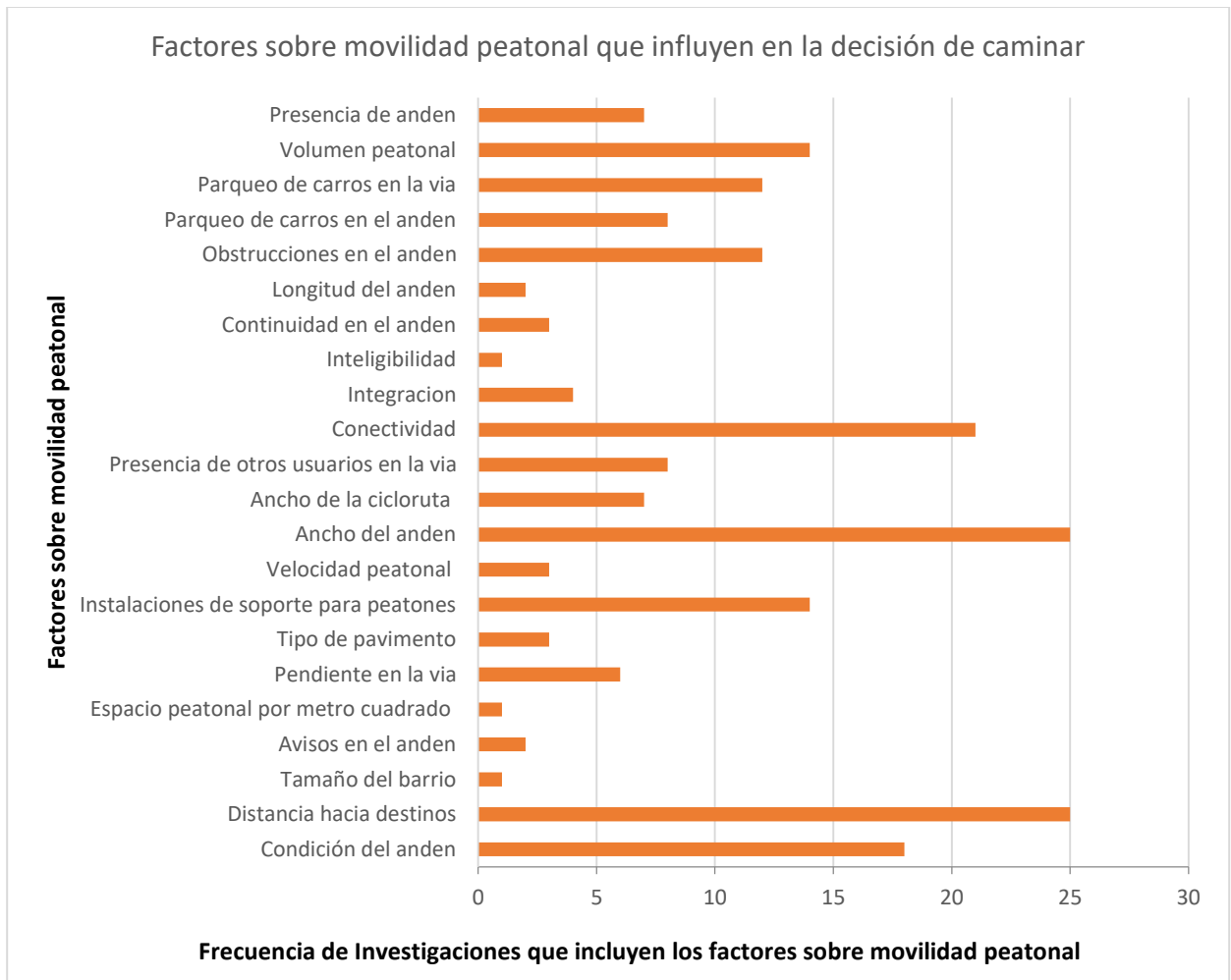


Figura 3. Factores sobre movilidad peatonal que influyen en la decisión de caminar

La anterior gráfica (Figura 3) demuestra que los atributos más usados por los autores son distancia hacia destinos, condición del andén, obstrucciones en el andén, parqueo de carros, ancho del andén, instalaciones de soporte para peatones y conectividad (Figura 3). Por ello, se seleccionan los siguientes atributos:

- Condición del andén es seleccionado debido a que es uno de los atributos más usados por los autores. Para su descripción matemática Nabila et al (2015), por ejemplo, lo mide como porcentaje de ancho del andén pavimentado, por otra parte Woldeamanuel y Kent (2015) establecen un valor ponderado entre 0 y 2, donde 0 es que el atributo se encuentra en mal estado y 2 se encuentra en buen estado.
- Obstrucción del andén, el cual identifica la presencia de sillas, canastas de basura, y postes en la vía que obstruyen el paso peatonal, algunos autores lo miden como porcentaje de longitud del andén sin obstáculos en el camino (Sungjin Park, 2008) o como variable cualitativa, es decir grado de obstaculización en la vía (Beiler & Phillips, 2016).

- Parqueo de carros es medido como presencia o número de carros parqueados en la acera en 100 metros o ancho de zona para parqueo de carros en la vía (Sungjin Park, 2008). Usualmente, es visto como obstáculo, dado que no permite un paso libre al momento de caminar.
- Ancho del andén se aplica para determinar la capacidad de flujo de un andén (Talavera-García & Soria-Lara, 2015), adicionalmente gran cantidad de investigaciones asocian este atributo como el más importante en la movilidad peatonal (Sanz, Dorado, Pena, & Mezcua, 2008); (Guttenplan et al., 2001; Bruce W. Landis, 1994); (Loo & Lam, 2012).
- Continuidad en el andén es definido por Kelly et al. (2011) como metros del andén con desvíos, y es seleccionado como parte del índice, aunque no es el más aplicado en la literatura, la zona de estudio se caracteriza por tener andenes discontinuos con gran cantidad de desvíos debido bordillos en la mitad del camino y con rampas para uso de parqueo de carros.

El segundo componente en consideración es la seguridad vial, en el cual se consideran los atributos que ayudan a los peatones a cruzar una vía, se puede notar que los factores mayormente usados son velocidad vehicular, volumen de flujo vehicular, dispositivos de control de tráfico, elementos de ayuda para cruce peatonal y zonas de protección peatonal (Figura 4)

Por lo anterior, los atributos seleccionados son los usados en la literatura, los cuales están descritos a continuación:

- Volumen vehicular, velocidad vehicular y ancho de la vía, los cuales son definidos como flujos por hora y kilómetros recorridos por hora en una vía. Éstos son los factores comúnmente considerados para explicar el grado de seguridad vial peatonal.
- Cruce peatonal y dispositivos reguladores de tráfico, se consideran como ayudas para cruce peatonal. Según Park et al, (2014) son dispositivos que mejoran la percepción de los usuarios al momento de cruzar una vía.

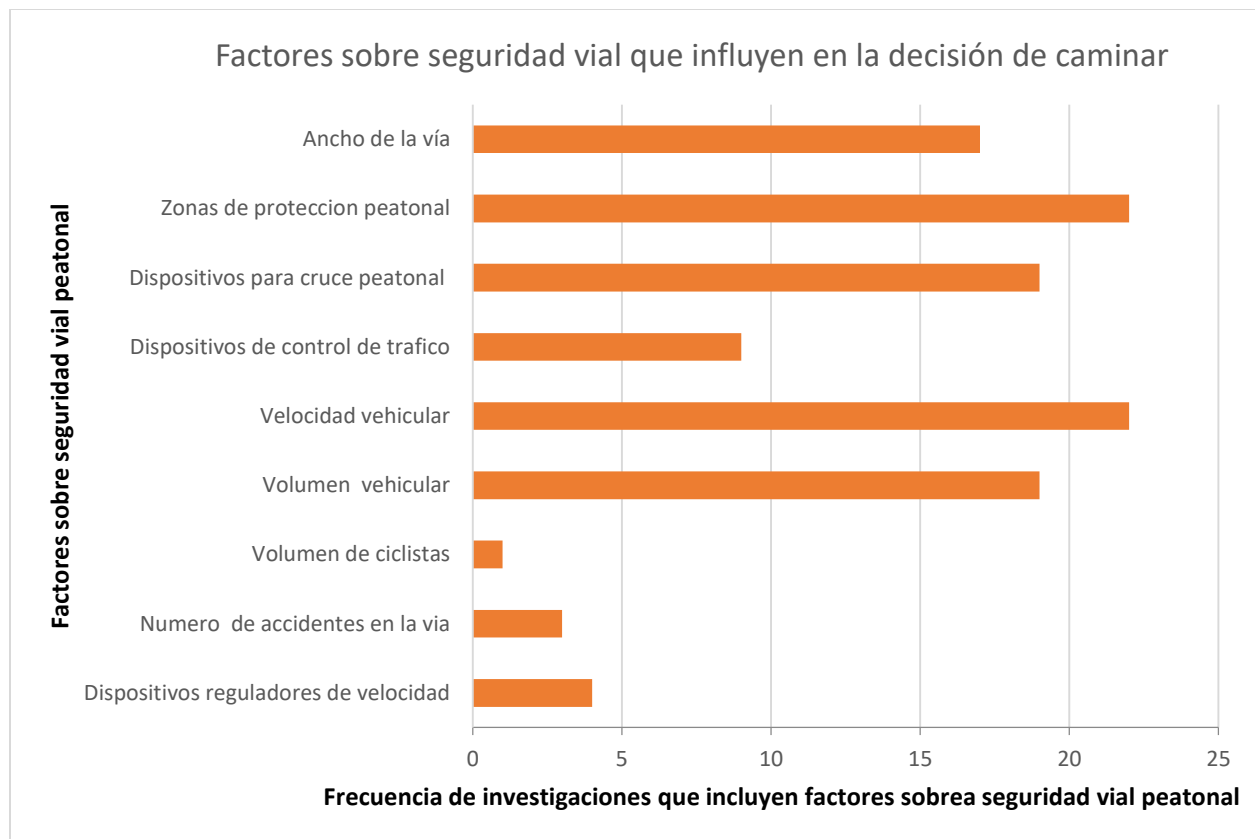


Figura 4. Factores sobre seguridad vial que influyen en la decisión de caminar

Los atributos que caracterizan la seguridad ante robos son elementos que inducen a los peatones percibir una zona como segura ante algún posible peligro. En la literatura, se considera iluminación en la vía, volumen peatonal como los aspectos que caracterizan la seguridad de una vía. Los aspectos considerados en este caso, son cámaras de seguridad, policías a la vista, conocimiento de robos en la vía y presencia de grafitis. La iluminación, en este caso, no se considera porque su relevancia ante la caminata es relativamente baja, porque solo afecta la movilidad en las horas nocturnas (Talavera-Garcia & Soria-Lara, 2015), y adicionalmente, la demanda peatonal es mayor en las horas de la mañana en la zona de estudio (Figura 5).

La comodidad es definida como el nivel de agrado dado por la condiciones del ambiente construido al momento de caminar, se consideran todos los aspectos considerados en la Figura 6, los cuales son establecidos en la literatura cualitativa y cuantitativamente. No son usados tan frecuentemente como son la movilidad peatonal, Atractividad y seguridad vial, aunque es importante dentro del estudio, debido a que se requiere medir el efecto de la calidad del ambiente construido al momento de caminar.

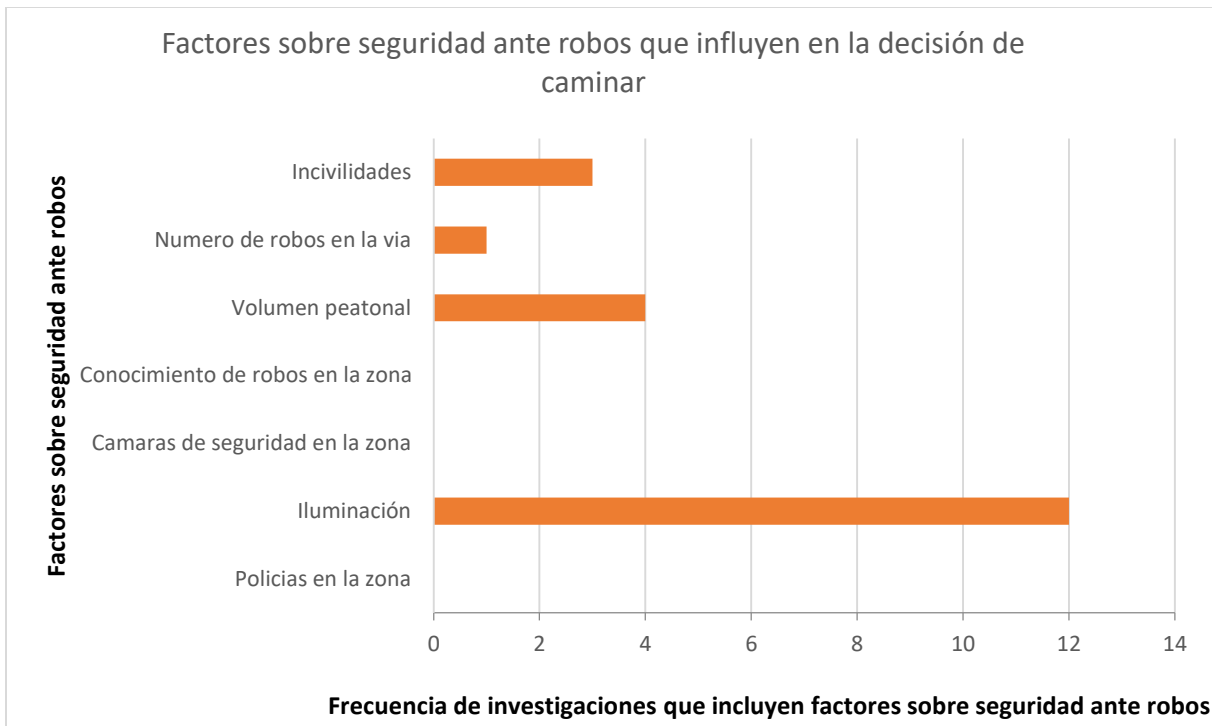


Figura 5. Factores sobre seguridad ante robos que influyen en la decisión de caminar

Los indicadores de Atractividad miden la facilidad de los peatones para interactuar entre sí al momento de caminar. Uso del suelo comercial es factor más usado. La relevancia de este aspecto radica en la relación con la demanda peatonal. Es decir, que en zonas de comercio, o con alto acceso al transporte público o lugares donde el uso del suelo es variado, se encuentran mayor número de personas, lo que aumenta la interacción entre éstas al momento de caminar. Estas son usadas comúnmente en los índices de caminabilidad aplicados por Frank et al., (2005) y **"walk score"** que son medidas ampliamente validadas en la literatura. En este caso, se seleccionan todos los tipos de uso del suelo: Uso residencial, institucional, comercial y espacio público, añadiendo a la lista el parámetro de acceso al transporte público (Figura 7).

Luego de seleccionar los atributos, se realizan el diseño de encuestas tipo ranking aplicadas mediante un modelo Logit Multinomial, con el objetivo de conocer cuáles son los atributos más importantes según la percepción de los usuarios.

Se realiza una encuesta por cada factor, por lo que se realizan cinco distintas encuestas y en cada una se jerarquizan los atributos según la importancia para los peatones, al final para conocer el orden de importancia de cada componente, se realiza otra encuesta basada en la explosión del ranking como se observa en el ANEXO 1.

En este caso en cada encuesta se deben ordenar los atributos entre 1-5 según la importancia de éstos para los peatones, donde 5 es el atributo más importante y 1 sería el atributo menos importante.

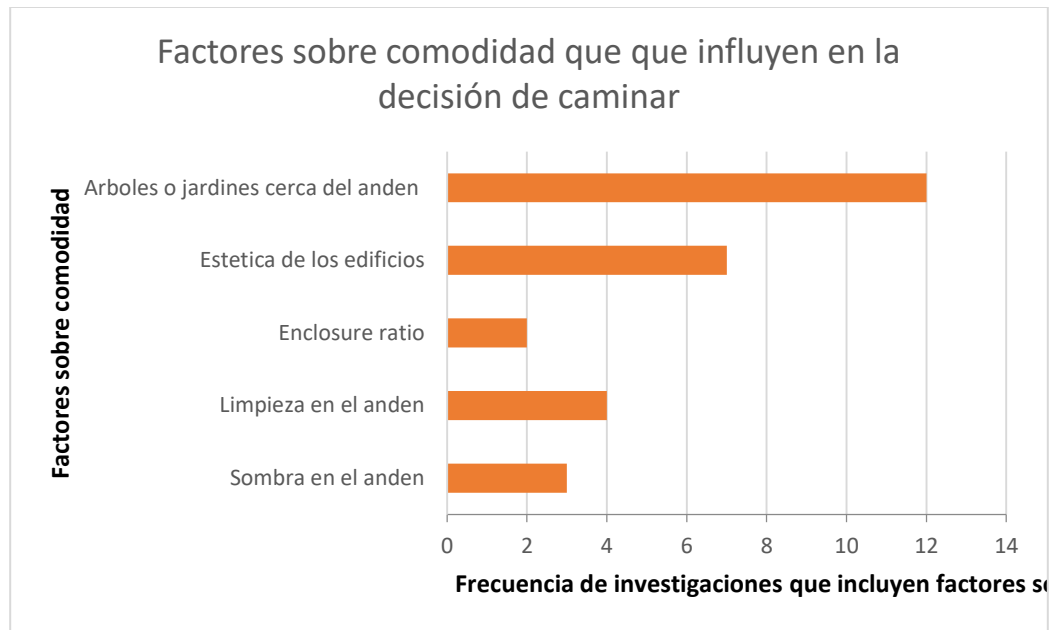


Figura 6. Factores sobre comodidad que influyen en la decisión de caminar

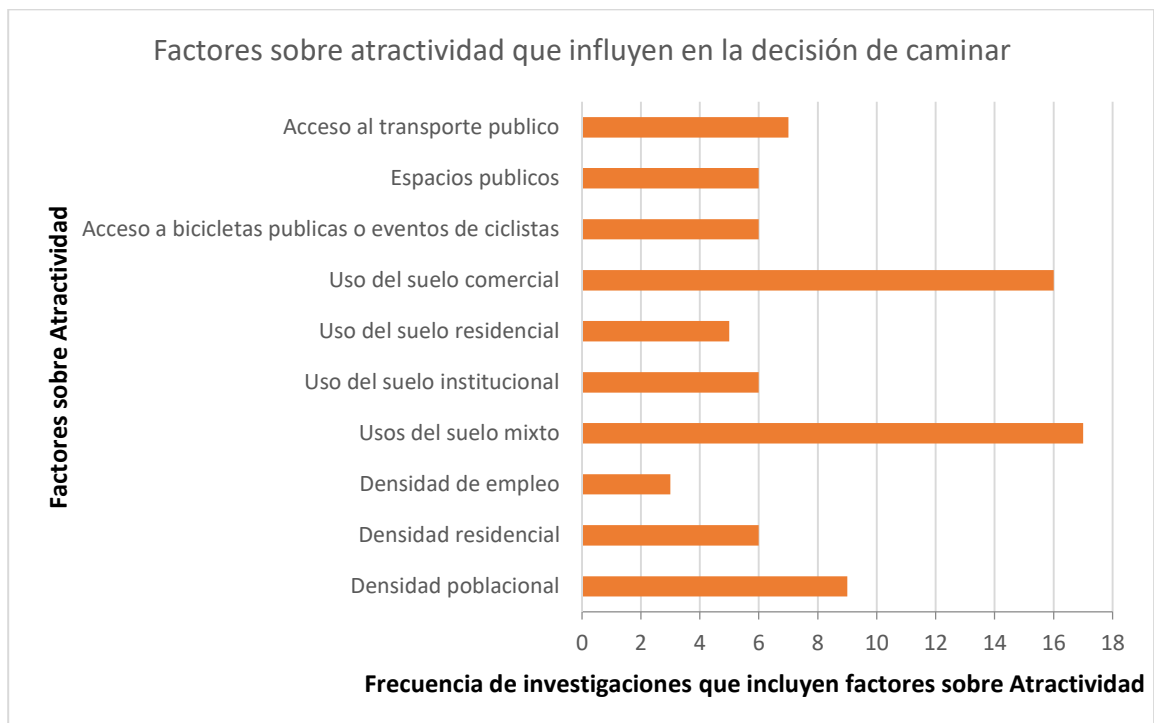


Figura 7. Factores sobre Atractividad que influyen en la decisión de caminar

3.1.2. Factores que afectan la accesibilidad de bicicletas

Los factores que afectan la accesibilidad para ciclistas son escogidos debido a que son seleccionados frecuentemente por distintos autores en la literatura para la construcción de un índice de accesibilidad para bicicletas. Estos factores son agrupados en componentes al igual que los peatones, que son definidos por Alfonso (2005). Cada componente se refiere a una posición en una pirámide de necesidades, el primero es movilidad, el siguiente componente importante para los usuarios es seguridad, finalmente comodidad y Atractividad.

Las Figuras presentadas presentan la frecuencia en que los factores fueron aplicados en la literatura.

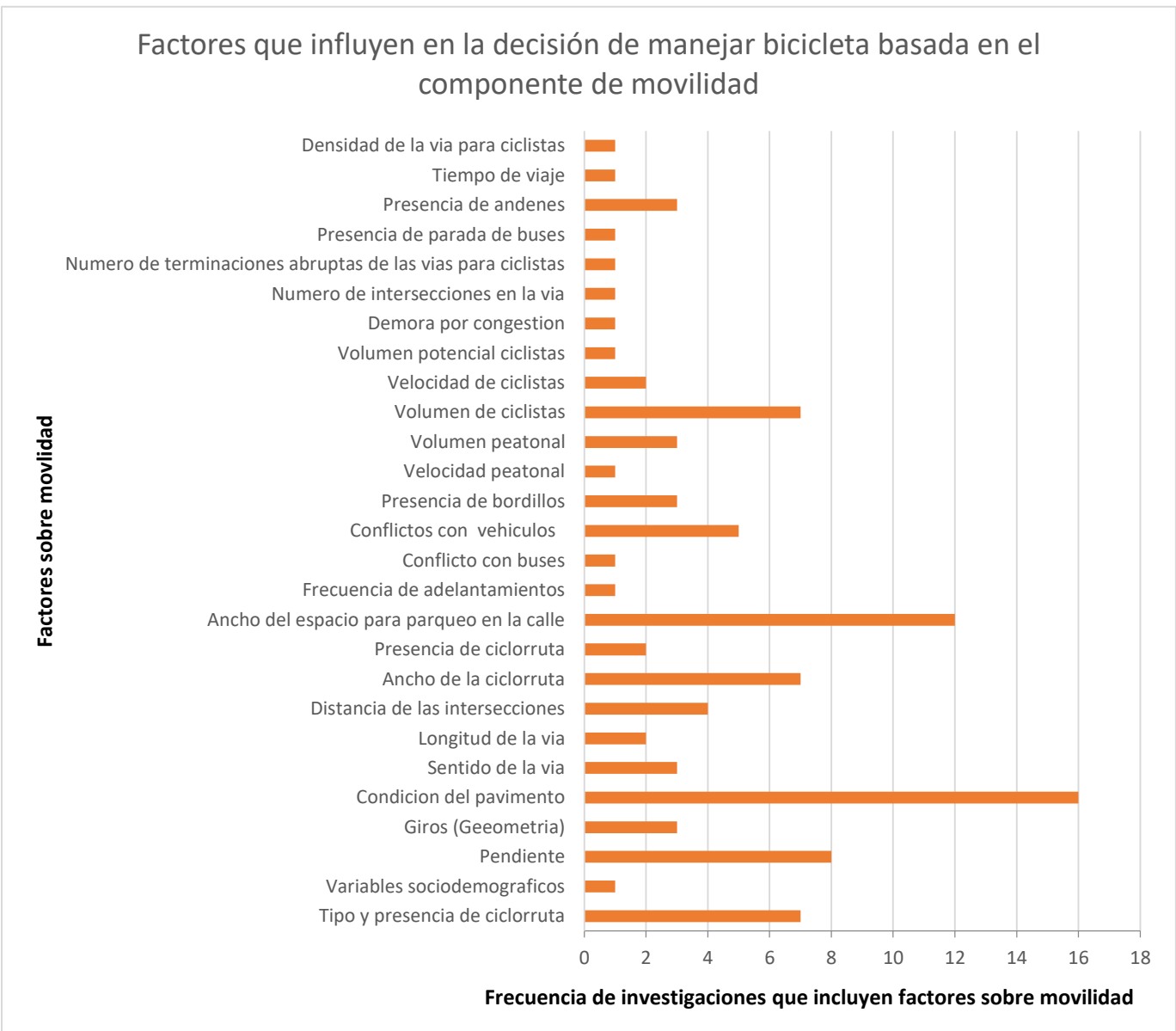


Figura 8. Factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta basada en el componente de movilidad

Se puede observar que los factores frecuentemente seleccionados por los autores son la condición del pavimento, presencia de ciclorrutas y ancho de la ciclorruta, pendiente en la vía, zonas de parqueo en la vía, presencia de andenes y volumen de ciclistas, por lo cual para construirse en el índice de caminabilidad se selecciona factores como condiciones del pavimento, pendiente de la vía, presencia de ciclorruta y ancho de la ciclorruta, obstáculos en las vías (zona de parqueo en las calles), que son las variables más usadas en la literatura (Figura 8). El volumen de ciclistas, no se considera debido a que los viajes en bicicletas en la ciudad son bajos en comparación a otros modos de transporte, por lo que congestión por bicicletas en una vía es muy poco probable en la ciudad.

El segundo componente es seguridad vial, que se define por atributos que afectan la seguridad ante algún posible accidente, este es un aspecto mencionado con frecuencia en la literatura dado que los índices mayormente usados para describir el grado de comodidad al manejar bicicletas son los índices de nivel de servicio para bicicletas (BLOS) (Asadi-Shekari et al., 2013b); (M. B. Lowry et al., 2012), que consideran componentes de seguridad vial y ancho de la vía para su construcción. Dentro de los factores más usados para establecer el índice se especifican el volumen vehicular, la velocidad vehicular y porcentaje de vehículos pesados, seguido por presencia de ciclorrutas y señales viales (Figura 9). Considerando lo anterior, se establecen que las variables a considerar son las mencionadas anteriormente. Aunque, se seleccionan volumen de buses en la vía, volumen de motos y volumen peatonal, dado que la zona de estudio son vías principales de la ciudad, que son los arcos más cargados por viajes en bicicletas (Plan Maestro de Movilidad, 2012).

Estos arcos se caracterizan por alta carga de viajes en moto y alta frecuencia de buses. Además, se considera volumen peatonal dentro del índice, dado que ante la ausencia de ciclo-infraestructura adecuada en la zona de estudio, los ciclistas pueden transitar tanto en el andén como en las vías vehiculares, por lo que es posible un accidente con peatones en algunos casos

Para la descripción de los atributos sobre seguridad ante robos se consideraron dos tipos de atributos, los cuales son la iluminación y el número de crímenes en la zona. Por ejemplo, Hawkins (2014) realiza una encuesta de percepción basada en mapas cognitivos y entre los atributos que se evalúan se encuentra el sentimiento de seguridad, facilidad de acceso y sentido del lugar. Asadi - Shekari (2015) considera el número de luminarias en la vía como atributo para construcción del índice caminabilidad, en la investigación se utilizan los manuales de diseño de infraestructura para personas para establecer los pesos del índice.

Finalmente, el índice realizado por el Departamento de salud pública y ambiental en San Francisco (2009) también considera iluminación como una variable que afecta la accesibilidad en bicicleta. El único autor que considera número de crímenes en una zona en su investigación es Rybarczyk y Wu (2010) para realizar un índice que mide la demanda potencial de ciclistas en la zona mediante atributos zonales. Adicionalmente, en este caso se considera iluminación debido a que la demanda de bicicletas mayormente en la ciudad de Barranquilla es en las noches dado el programa de ciclovías presente por la Secretaria de Movilidad o grupos de ciclistas.

Aunque se especificaron dos atributos en los artículos revisados, en el estudio, se seleccionan variables como presencia de policías, cámaras de seguridad, demanda de ciclistas y conocimiento de zonas peligrosas, debido a que la aplicación se realiza en Colombia caracterizado por ser un país poco seguro ante robos. Según una encuesta de percepción evaluada por Gaviria y Vélez (2001), el 80% de las personas poco se exponen a salir en la noche

por prevención ante algún posible robo y el 49,22 % de las personas adultas en las ciudades perciben su ciudad como insegura.

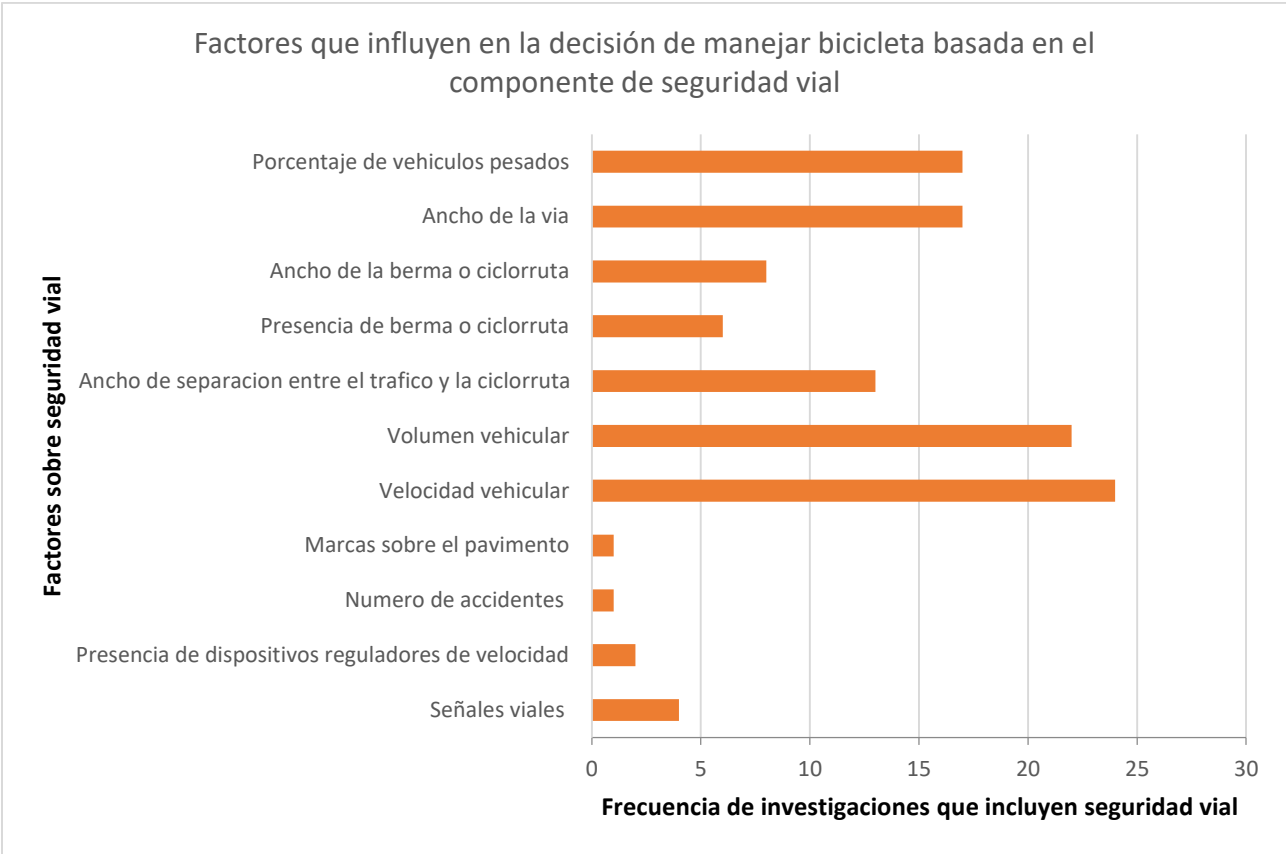


Figura 9. Factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta basada en el componente de seguridad vial

La comodidad es definida como el nivel de agrado dado por el ambiente construido al momento de manejar bicicleta. Hawkins (2014), Departamento de salud pública y ambiental en San Francisco (2009) y Van Dyck et al (2012) consideran la estética de los edificios y árboles en la vía para caracterizar este aspecto. Por ello, se consideran ambos atributos para que hagan parte del índice.

La medida de Atractividad dentro sus aplicación se encuentra deducir la demanda potencial de bicicleta en una zona (Rybarczyk & Wu, 2010). En la Figura 10, se puede observar que las variables que más se aplican en el índice son uso del suelo comercial y espacios públicos, por ello, se seleccionan estos dos factores. Se debe considerar que la demanda de bicicletas se encuentra mayormente en vías principales, por ello otro factor importante a tener en cuenta dentro del componente es la distancia a troncales importantes de la ciudad, para la realización del modelo de demanda directa de viajes.

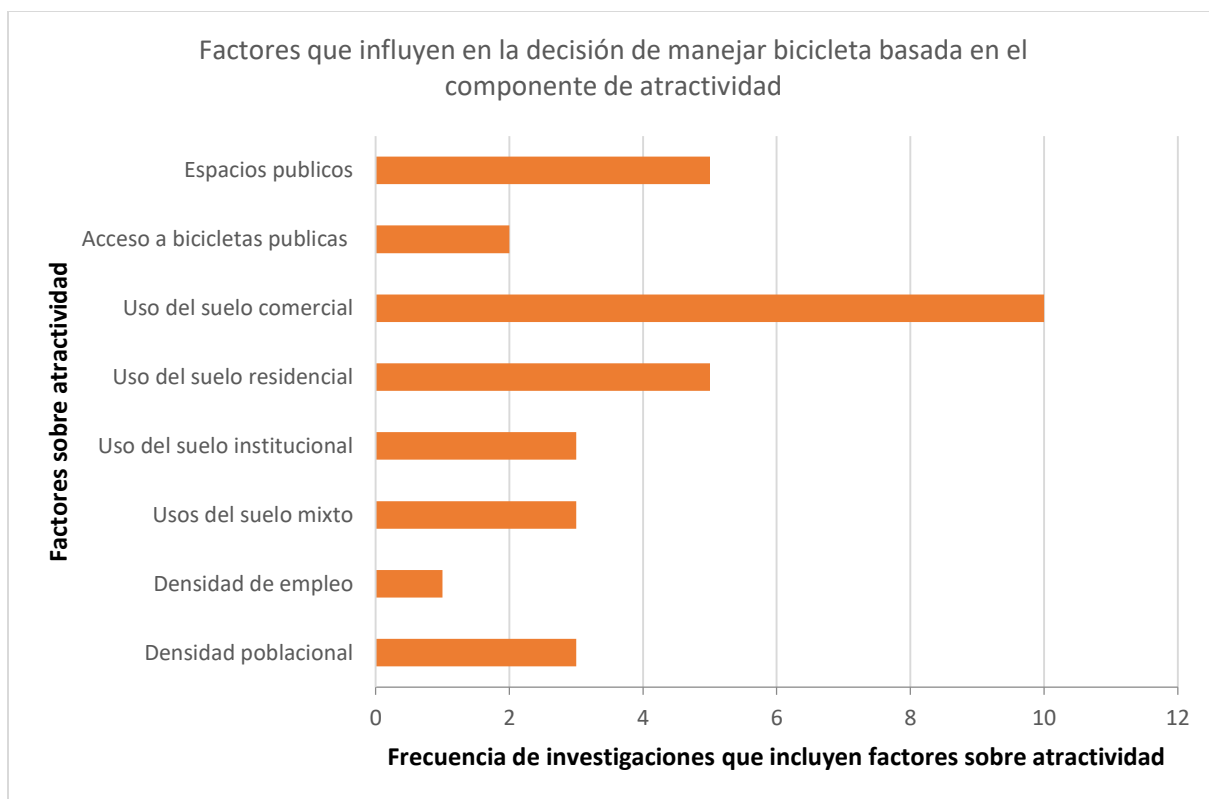


Figura 10. Factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta basada en el componente de Atractividad

Al seleccionar los atributos para la creación del índice, se aplica el diseño de la encuesta de percepción con datos tipo ranking con el objetivo de conocer los atributos más importantes. Para ello, se realiza una encuesta por cada componente: condición vial, seguridad vial y seguridad ante robos.

La encuesta sobre condiciones viales se muestra en el ANEXO 2, la cual consiste en ordenar de menor a mayor importancia los atributos que afectan la facilidad de transportarse en una bicicleta en una vía. La encuesta se realiza tanto a ciclistas como a personas que usualmente no manejan bicicleta en la ciudad.

En el diseño de la encuesta se consideran los atributos de movilidad y de comodidad, debido a que ambos componentes afectan la facilidad de manejar bicicleta en una vía con base al ambiente construido. En términos generales en esta encuesta se tienen en consideración siete distintos atributos: Estado del pavimento, obstrucciones en la vía, pendiente en la vía, presencia de ciclorruta, ancho de ciclorruta, edificios en buen estado y árboles en la vía, los cuales se deben ordenar del 1-7, donde 7 se le coloca al atributo más importante, y así sucesivamente hasta llegar al menos importante, en el cual su valor es 1.

La encuesta sobre seguridad vial mostrada en el ANEXO 2 considera los siete atributos seleccionados según revisiones literarias. Los atributos a considerar son: presencia de ciclorrutas, volumen vehicular, velocidad vehicular, señales viales, frecuencia de buses, volumen peatonal y volumen de moto, al igual que la encuesta de condiciones viales, se debe ordenar de mayor a menor importancia los atributos según su construcción a la seguridad vial del 1-7.

Finalmente la encuesta sobre seguridad ante robos que se ilustra en el ANEXO 2, se debe ordenar de mayor a menor importancia entre 1-5, debido a que son cinco factores. Los factores que se deben ordenar son presencia de policías, cámaras de seguridad, demanda de ciclistas y conocimiento de zonas peligrosas y presencia de luminarias en la vía.

Para establecer cuáles de los anteriores componentes es el más importante, se realiza otra encuesta la cual consiste en preguntar el orden de importancia de los atributos que permiten que un usuario manejar bicicleta en una ciudad. La pregunta básicamente es: ¿USTED DECIDE USAR BICICLETA CUANDO?

Los elementos que inciden en la decisión de manejar bicicleta en una ciudad son la presencia y la tipo de ciclo-infraestructura en la zona de estudio, la distancia del viaje, el clima de la ciudad, las condiciones viales, seguridad vial, seguridad ante robos y como modo de transporte para ahorrar dinero (Bycycle infrastructure design manual, 2009).

- La distancia de viaje es una variable cuantitativa, la cual considera la distancia mínima desde un origen hacia un destino establecido. Todas las medidas de accesibilidad para bicicletas consideran este parámetro. Según Iacono (2010), la relación de porcentaje de viajes y de distancia entre par origen-destino es posible calibrarla con una función exponencial, lo que radica que el porcentaje de viajes en bicicleta disminuye exponencialmente por la distancia de la ruta a recorrer.
- El clima de la ciudad es un factor que afecta la decisión de manejar bicicleta en una vía. Autores como Hanson (1977), Nankervis (1999), Rose et al. (2011) y Thomas et al. (2013), entre otros, realizan estudios empíricos para analizar la relación entre demanda de viajes mediante bicicletas y datos meteorológicos, observando que los viajes por motivo de recreación y deporte son más sensibles al clima que los viajes por motivo de trabajo o estudio.
- Costo de viaje es un atributo que su importancia depende del ingreso económico del individuo, debido a que se podría preferir escoger bicicleta, en vez de auto o bus para ahorrar dinero en la tarifa del viaje.

Por lo anterior los atributos usados son: Distancia de viaje, clima de la ciudad, costo de viaje, presencia de ciclo-infraestructura, condiciones viales, seguridad vial y seguridad ante robos, al igual que las demás encuestas, ésta consta en ordenar los atributos entre 1-7 que afectan en la decisión de manejar bicicleta en la ciudad.

Por otra parte, en esta encuesta se aplican preguntas que son necesarias debido a que el índice varía según las características de los usuarios y/o el propósito del viaje. Por ello, se pregunta al usuario, las variables socioeconómicas, el barrio donde vive, el propósito por el cual maneja bicicleta y variables binarias, por ejemplo, si maneja o no frecuentemente bicicletas y si posee o no bicicleta. Además, el tiempo máximo en el que está dispuesto manejar una bicicleta y el horario en que maneja bicicleta.

Al preguntar el propósito de viaje se establece una encuesta basada en explosión del ranking. Dentro de las actividades se tienen en cuenta ir al trabajo/estudio, visitar a un compañero, hacer deporte, y realizar compras.

3.2. Obtención de la importancia de los factores que incide en la accesibilidad de transporte no motorizado

La obtención de la importancia de cada atributo radica en generar un peso a éste según el impacto en la accesibilidad del modo de transporte evaluado. Por ello, se realizan encuestas de percepción basadas en explosión del ranking estructuradas mediante modelos de elección discreta. Estas encuestas se realizan a las personas objeto de la zona de estudio.

Como se explica en los antecedentes mostrados en el capítulo 2, este tipo de encuestas se basan en ordenar las alternativas entre mayor a menor importancia, el encuestado debe colocar a la alternativa más importante, el valor del total de alternativas y a la alternativa menos importante el valor de 1. El objetivo de la encuesta radica en calcular una función de utilidad definida en la ecuación 1, para cada alternativa.

En el caso peatonal la utilidad es definida por la constante es decir la probabilidad representa las proporciones del mercado. Mientras que, para el cálculo de las utilidades de los atributos que afectan a los ciclistas se consideran variables, (X_i) , como la edad, estrato y el proposito, por el cual comunmente una persona maneja bicicletas. Esto con el fin de hallar la probabilidad P_{iq} mostrada en la ecuacion 3, que representa la probabilidad de que un individuo q escoja la alternativa A_i

La modelacion de la funcion de utillidad consta en colocar como variable dependiente, la eleccion del atributo generada por el usuario. A cada atributo se le asigna una posición, es decir un numero entre 1 y el total de atributos dentro de la encuesta, dicha posicion se coloca en orden en que fueron elegidos por el individuo para construir la variable dependiente.

En cuanto a las variables independientes, son la variable de disponibilidad es decir la constante, la cual es 1, si el atributo no ha sido elegido por el individuo q y 0 si el atributo no es disponible para su eleccion porque anteriormente ha sido escogido.

En la modelación de la encuesta de ciclistas, se tienen en cuenta las características socioeconomicas de los individuos, el proposito del viaje, la variable binaria de si maneja o no maneja bicicleta y si tiene bicicleta o no.

La modelación de los parametros θ representados en la ecuacion 1 se realiza bajo la maximización de la log-verosimilitud, expresada en la ecuación 5:

$$l(\theta) = \sum_q \sum_{A \in A(q)} g_{jq} \ln P_{jq} \quad (5)$$

Donde g_{jq} es 1 si la alternativa A_i es escogida por el individuo q , P_{jq} depende de la utilidad del representativa de cada alternativa A_i formulada en la ecuación 6:

$$U_{iq}^A = \theta_i^A + \theta_T X_{iq}^A \quad (6)$$

En este caso, la utilidad depende de la constante θ_i^A y del conjunto de parametros estimados θ_T y X_{iq}^A que es un vector de atributos de la alternativa A_i para el individuo q . Esta modelizacion es realizada en Biogeme bajo el modelo Logit Multinomial. La probabilidad de eleccion de cada alternativa se representa con la siguiente ecuación 7:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta U_{iq})}{\sum_{A \in A_j} \exp(\beta U_{jq})} \quad (7)$$

Las características y supuestos de éste modelo son los siguientes:

- Como β no puede ser identificado se hace igual a 1. Esta escala es inocua debido a que si todas las utilidades se multiplican por β el ranking no se alteraría.
- Se estiman solo N-1 constantes, por ende una de ellas se hace 0, para poderlos comparar entre sí, y tomar una alternativa de referencia.
- La estructura de error no permite tratar correlación entre alternativas.
- El modelo no permite variaciones en los gustos, ni tratar la heteroscedasticidad.

La recopilación de la base de datos de la encuesta es un trabajo importante para que el índice sea diciente, dado que debe representar la percepción de los usuarios de la zona de estudio, por ello se debe considerar que la muestra sea representativa, para que esto se cumpla se debe la encuesta de cumplir con la distribución dada por el censo de la ciudad y que distribución de encuestados sea equitativa espacialmente. Debido a ello, las encuestas se recopilan incluyendo a todas las zonas de la ciudad en la base de datos y considerando que el 50% de los encuestados pertenezcan a personas de estratos bajos.

En las encuestas para los ciclistas se considera añadir en la base datos tanto personas que manejen frecuentemente bicicletas y usuarios poco frecuentes de ésta, priorizando a las personas que manejen este modo de transporte. En general, la cantidad de encuestas dirigidas a usuarios para ir al trabajo/estudio y para realizar deporte debe ser equitativo. Dado que el objetivo es realizar un índice por propósito de viaje y según las variables socioeconómicas de los individuos.

3.2.1. Obtención de la importancia de los factores que inciden en la accesibilidad peatonal

La encuesta de percepción sobre la movilidad de peatones se realizó en la ciudad de Barranquilla. Para que la muestra se representativa, la recopilación de las encuestas considera las características de la población de la ciudad extraídas de los datos del Censo de Barranquilla realizados en el 2006 por el DANE (2006). La comparación de los datos generados en el censo y en las encuestas se muestra en la siguiente Tabla 3 (el número al lado derecho el porcentaje se refiere al estrato socioeconómico):

Estrato	Encuestados por estrato (%)	Población por estrato (%)
1	30.8%	31.0%
2	21.17%	26.01%
3	25.58%	21%
4	9.41%	12%
5	6.1%	5.9%
6	6.79%	3.9%

Tabla 3. Datos socioeconómicos de las encuestas

En total se realizaron 340 encuestas, en las cuales 48.88% encuestas son respondidas por hombres y 51.17% de mujeres, se puede evidenciar que los datos de la población por estrato y los datos de los encuestados son similares, debido a que la mayoría de los datos se recogen en estratos bajos como estratos 1, 2 y 3.

Además, todas las zonas de la ciudad deben ser encuestadas, para que se genere una muestra representativa, en la siguiente Figura 11 se puede establecer que la encuesta fue realizada en toda la ciudad de Barranquilla equitativamente.

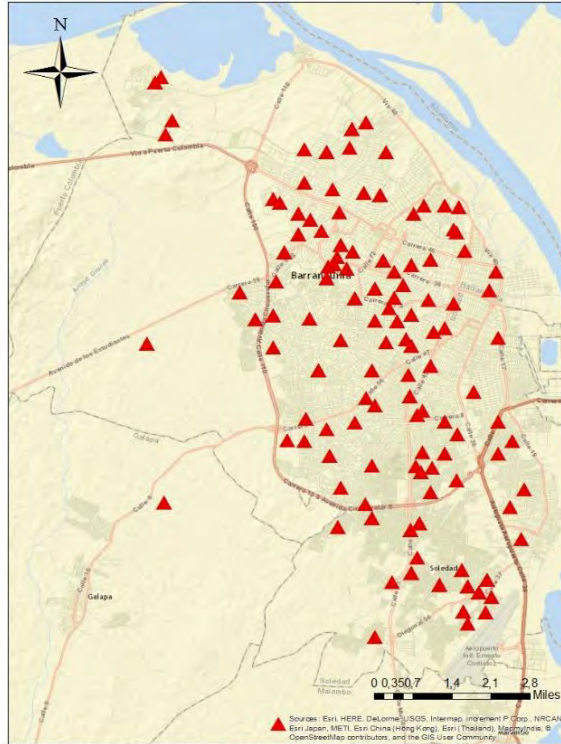


Figura 11. Distribución de encuestados en la zona de estudio (Peatones)

Al realizar la encuesta en la zona de estudio, se aplica el Modelo Logit Multinomial (MNL) con datos tipo ranking para generar los valores de utilidad de cada atributo, y la probabilidad de escoger un atributo como el más importante. Este modelo MNL se aplica para cada encuesta mediante el programa BIOGEME.

Las proporciones del mercado (Wip) representan el peso o la importancia del atributo i del componente p , usado para el modelo del índice de caminata. Para su construcción se aplica la siguiente fórmula la cual es la probabilidad de escoger un atributo como el más importante (ecuación 8).

$$P_{iq} = \frac{\exp(\theta_i)}{\sum_{i=1}^N \exp(\theta_i)} \quad (8)$$

Donde θ_i es la función utilidad de escoger dicho atributo, en este caso, solamente la constante define la utilidad, por lo cual la probabilidad presentada en la ecuación 8, es el valor de las proporciones del mercado.

En la encuesta sobre movilidad peatonal se establece que el atributo escogido como el más importante es el estado del andén con 33.8% de probabilidad, seguido por obstáculos

en el andén y las zonas de parqueo. Estos dos últimos atributos son estadísticamente iguales, debido al que el valor-p de la variable obstáculos en el andén es mayor que 0.05, por lo que las zonas de parqueo son percibidas como impedimentos al momento de caminar. En cambio, el ancho y las discontinuidades son los atributos menos importantes para los peatones como se detalla en la Tabla 4.

Por lo que significa que posiblemente sin considerar alguna restricción presupuestaria, deben realizarse inversiones que consistan en mejorar el pavimento de andenes o eliminar cualquier tipo de obstáculo que impida el paso libre al peatón, antes de ampliar los andenes, para así mejorar la percepción de los usuarios sobre la movilidad peatonal en la ciudad.

Atributo	Estimación (U_i)	Test t	Wip
Ancho del Andén	-0.181	-1.91	0.158
Condición del Andén	0.579	6.18	0.338
Discontinuidades en el andén	-0.526	-5.56	0.119
Parqueo en el anden	0		0.189
Obstáculos en el anden	0.066	0.71	0.202*

Tabla 4. Resultado de la encuesta sobre movilidad peatonal.

Nota: (*) Significa que el Valor-P >0.05. **Wip** es la probabilidad de elección del atributo como el más importante

Variables más usadas en la literatura para describir la seguridad vial peatonal como velocidad vehicular, volumen vehicular y ancho de la vía afectan la seguridad vial, según los peatones, de manera poco significativa en comparación dispositivos de control de tráfico o reductores de velocidad como semáforos, puentes o cebras peatonales. Lo anterior, es resultado racional debido a que estos dispositivos permiten a los peatones aislarse del conflicto con vehículos (Tabla 5).

Atributo	Estimación (U_i)	Test-t	Wip
Velocidad Vehicular	-0.361	-3.64	0.160
Volumen Vehicular	-0.960	-9.48	0.088
Semáforos en la vía	0.769	7.92	0.497
Cebras o puentes peatonales	0		0.230
Ancho de la vía	-2.27	-17.47	0.024

Tabla 5. Resultado de la encuesta sobre seguridad vial.

Nota: (*) Significa que el Valor-P >0.05. **Wip** es la probabilidad de elección del atributo como el más importante

Si en la vía se presentan policías o cámaras de seguridad mejoraría la percepción de inseguridad ante robos en las calles. Las demás variables como presencia de otros usuarios en la vía, conocimiento que la vía sea insegura o presencia de grafitis en los edificios son poco dicientes al momento de explicar el índice considerando este componente de seguridad. Por ello, en este contexto se puede decir que al haber una autoridad pública o mecanismos de mitigación del riesgo ante crímenes como son las cámaras de seguridad, el riesgo ante robos disminuiría según la percepción de los ciudadanos (Tabla 6).

Atributo	Estimación (U_i)	Test-t	Wip
Cámaras de seguridad	-0.448	-4.5	0.3157
Presencia de policías	0		0.497
Grafitis en edificios	-3.14	-23.12	0.021
Volumen peatonal	-1.46	-13.57	0.115
Conocimiento de robos en la vía	-2.33	-19.26	0.048

Tabla 6. Resultado de la encuesta sobre seguridad ante robos.

Nota: (*) Significa que el Valor-P >0.05. **Wip** es la probabilidad de elección del atributo como el más importante

La limpieza es el atributo relacionado con comodidad peatonal más importante según los peatones al caminar, seguido por sombra y árboles en el andén. Estos dos últimos atributos son estadísticamente iguales debido a que el valor-p de la variable presencia de árboles en el andén es mayor que 0.05, esto indicaría que los árboles generan sombra sobre el andén, según los encuestados. El ancho de la vía y visibilidad agradable son los atributos menos importantes para los peatones, por lo que la visibilidad amplia y agradable no es uno de los aspectos más importantes al momento de caminar (Tabla 7).

Atributo	Estimación (U_i)	Test-t	Wip
Limpieza en el andén	0.791	8.12	0.433
Árboles en el andén	-0.0601	-0.65	0.185*
Ancho de la vía	-0.441	-4.56	0.126
Sombra en la vía	0		0.196
Visibilidad agradable	-1.17	-11.26	0.060

Tabla 7. Resultado de la encuesta sobre comodidad

Nota: (*) Significa que el Valor-P >0.05. **Wip** es la probabilidad de elección del atributo como el más importante

Los factores que generan mayor demanda peatonal son el fácil acceso al transporte público y presencia zonas de comercio, los cuales son estadísticamente iguales. Seguido por zonas de espacio público, como parques o plazas y zonas institucionales o residenciales. Esto indica que en Barranquilla, las personas poco caminan por zonas residenciales o en zonas institucionales, mientras que prefieren caminar en zonas comerciales y cercanas a rutas de buses (Tabla 8).

Atributo	Estimación (U_i)	Test-t	Wip
Zona de comercio	0		0.254
Zona institucional	-0.612	-6.57	0.138
Zona residencial	-0.721	-7.44	0.124
Accesibilidad al transporte público	0.0626	0.66	0.270*
Zona de espacios públicos	-0.173	-1.81	0.213*

Tabla 8. Resultado de la encuesta sobre Atractividad

Nota: (*) Significa que el Valor-P >0.05. **Wip** es la probabilidad de elección del atributo como el más importante

Los resultados de la encuesta para conocer cuáles son los componentes más importantes para satisfacer las necesidades de los peatones al momento de caminar se conocen en la siguiente Tabla número 9. Se pudo corroborar que la seguridad ante robos y

seguridad vial son los componentes más importantes al momento de caminar por una vía, seguido por movilidad y comodidad en el andén. En éste caso, las personas escogen vías seguras para caminar antes que se encuentren en buen estado o sean cómodas.

Si en el andén se presentan zonas comerciales, parques o instituciones, pero éste es inseguro o poco cómodo, la mayoría de los peatones no preferirán caminar por dicho andén.

En general se puede evidenciar que la probabilidad de escoger la seguridad ante robos es 0.4094, es decir que una vía que cuente con policías o cámaras de seguridad obtendrá mayor valor en el índice de accesibilidad para peatones (Tabla 9).

Atributo	Estimación (U_i)	Test-t	Wip
Movilidad	0		0.135
Seguridad ante robos	1.11	11.16	0.409
Seguridad vial	0.604	6.33	0.247
Comodidad	0.035	0.37	0.137*
Atractividad	-0.672	-6.59	0.069

Tabla 9. Resultado de la encuesta de los componentes que afectan la accesibilidad peatonal.

Nota: (*) Significa que el Valor-P >0.05. **Wip** es la probabilidad de elección del atributo como el más importante

3.2.2. Obtención de la importancia de los factores que inciden en la accesibilidad de bicicletas

La encuesta de percepción las condiciones infraestructura vial para construcción del índice de accesibilidad para ciclistas se realizó en la ciudad de Barranquilla. Esta encuesta se puede observar en el ANEXO 2. La recopilación de los datos se aplica considerando los datos socioeconómicos de la población para obtener una muestra representativa. Estos datos son obtenidos del Censo de Barranquilla realizadas en el 2005 por el DANE (2005).

La siguiente Tabla 10 muestra la comparación entre los datos de la muestra y de la población (el número al lado derecho el porcentaje se refiere al estrato socioeconómico):

Estrato	Encuestados por estrato (%)	Población por estrato (%)
1	26.4%	34.0%
2	27.08%	28.51%
3	25.89%	23.03%
4	11.6%	13.16%
5	5.05%	6.58%
6	3.8%	4.38%

Tabla 10. Datos socioeconómicos de las encuestas

Se realizaron 336 encuestas, de las cuales 208 fueron realizadas a hombres y 128 a mujeres, debido a que en la ciudad los hombres usan la bicicleta en mayor proporción.

Por otra parte, se aplican encuestas tanto a usuarios que manejan bicicletas con frecuencia como a usuarios que no manejan bicicleta, debido que se requiere conocer la percepción de todos los tipos de usuarios objeto de la zona de estudio. En la siguiente Tabla 11

se detalla el porcentaje de personas encuestadas según propósito y frecuencia de viajes en bicicleta.

Se observa que las personas que manejan bicicletas frecuentemente son aquellas que se trasladan al trabajo, mientras que las personas que no manejan frecuentemente, usan la bicicleta por motivo de recreación y deporte.

Propósito de viaje	Manejan Bicicleta (%)	No Manejan Bicicleta (%)
Trabajo/Estudio	27.7%	2.9%
Deporte/Recreación	27.08%	34.8%
Otros	2.9%	4.46%

Tabla 11. Datos de las características de los encuestas

Seguidamente, se debe constatar que la mayoría de las zonas de Barranquilla se encuentren encuestadas, por lo que se construye un mapa que evidencie que se cumpla con la distribución espacial equitativa de la toma de datos de la encuesta. Como se evidencia en el siguiente mapa presentado en la Figura 12, se puede constatar que se recopilan datos en toda la ciudad.

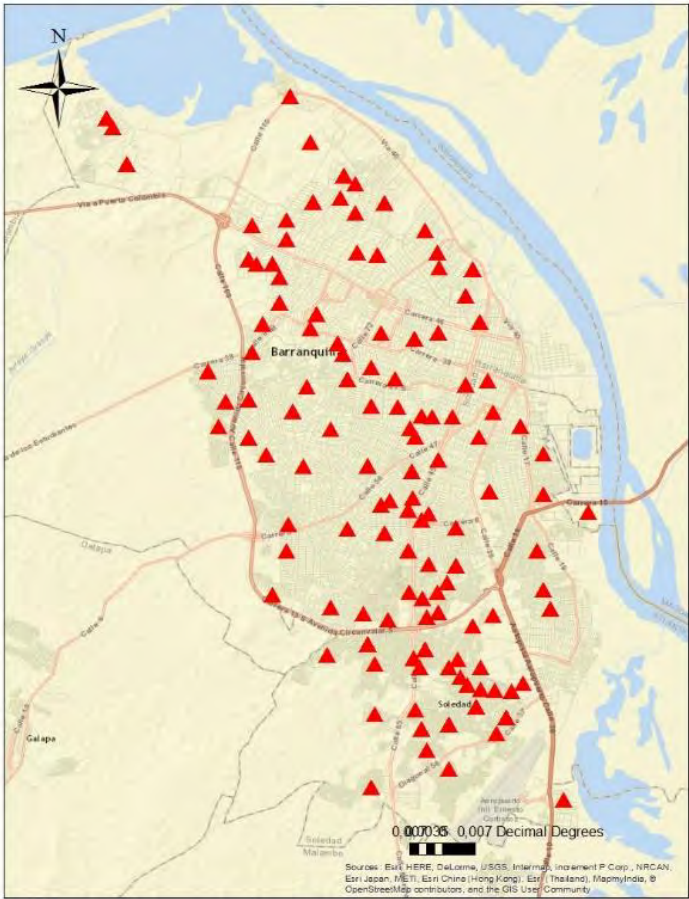


Figura 12. Distribución de encuestados en la zona de estudio (Ciclistas)

Al realizar la encuesta anexada en el estudio, se aplica un Modelo Logit Multinomial (MNL) usando el programa BIOGEME, con el fin de obtener la importancia de cada atributo.

En este modelo se generan los valores de utilidad de cada alternativa, los cuales no consideran solo constantes, sino que también se tienen en cuenta diferentes variables como aspectos socioeconómicos, el propósito de viaje en bicicleta y la frecuencia en que usa la bicicleta la persona encuestada. Es decir, que se construye un índice que cambia su valor según las características del usuario.

A continuación, se presenta una descripción completa sobre las variables que se emplearon para el modelo MNL (Tabla 12).

Atributo	Descripción
Propósito deporte [dep]	Variable binaria que representa si escoge la actividad de realizar deporte como más importante usando una bicicleta.
Propósito trabajo/binaria [trab]	Variable binaria que representa si escoge la actividad de ir al trabajo/estudio con una bicicleta como más importante.
Propósito de compras [comp]	Variable binaria que representa si escoge la actividad de ir a realizar compras con una bicicleta como más importante.
Manejar bicicleta frecuentemente [Maneja]	Variable binaria que representa si maneja o no bicicleta frecuentemente.
Estrato bajo [Eb]	Variable binaria que representa los estratos socioeconómicos 1,2 y 3.
Estrato alto [Ea]	Variable binaria que representa los estratos socioeconómicos 4,5 y 6.
Tiene bicicleta [BICI]	Variable que representa si una persona tiene una bicicleta propia.

Tabla 12. Variables para modelos de las encuestas tipo Ranking

Los resultados sobre la encuesta que consta en ordenar los atributos según su importancia en la decisión de escoger manejar bicicleta son mostrados a continuación, solo se incluyen variables significativas, es decir si el valor P es menor que 0.05.

La ecuación número 9 representa la función utilidad de elección de ciclo-infraestructura como factor que influye en la definición de usar la bicicleta, se puede constatar que los usuarios que prefieren que las vías cuenten con ciclo- infraestructura son aquellos que usan la

bicicleta por motivo de trabajo, estudio, deporte y recreación, aún en mayor proporción a los usuarios que usan la bicicleta por motivo de recreación y deporte.

$$U_{inf} = -0.876 + 1.33 * dep + 0.598 * trab \quad (9)$$

La ecuación número 10, establece la función de utilidad de elección de la distancia de viaje como atributo que incide en la decisión de manejar bicicleta. Se puede constatar que los usuarios que eligen distancia de viaje como atributo menos importante al momento de decidir manejar bicicleta son aquellas personas que están dispuestas a manejar bicicleta por motivo de deporte, es decir que los usuarios que manejan por deporte están dispuestos a realizar viajes más largos.

$$U_{distancia} = -0.0751 - 0.316 * dep \quad (10)$$

La alternativa de seguridad vial, no depende del propósito de viaje, el estrato del usuario o si maneja o no bicicleta con frecuencia, esto significa que la probabilidad de elegir la seguridad vial como más importante es independiente ante el tipo de usuario (ecuación 11)

$$U_{SegVial} = 0.084 \quad (11)$$

El clima fue la alternativa fijada para la modelación de la encuesta, es decir que el valor de la utilidad es cero. Para el caso de la alternativa de seguridad ante robos (ecuación 12), y condiciones ambientales (ecuación 13), aumentan la probabilidad de ser elegidas por aquellas personas que manejan bicicleta con frecuencia. Aun así la alternativa más importante es la seguridad ante robos, según las funciones de utilidad descritas a continuación.

$$U_{robos} = -0.160 + 0.357 * Maneja \quad (12)$$

$$U_{CondV} = -0.250 + 0.300 * Maneja \quad (13)$$

La ecuación número 14 representa la función de utilidad de elección del costo de viaje. Esta alternativa es elegida con mayor probabilidad, en caso que los usuarios sean estratos bajos y manejen bicicleta por modo de trabajo, por lo que la usan por como modo de transporte para ahorrar dinero en la tarifa de viajes.

$$U_{CostoV} = -1.38 + 0.894 * Maneja * trab + 0.488 * Eb \quad (14)$$

Al considerar las anteriores funciones de utilidad de elección de cada alternativa, se afirma que es posible hallar distintos pesos dependiendo de los niveles de los factores. Por ello en la siguiente Tabla 13 se especifican las variaciones de las probabilidades de elección de cada alternativa según las características del usuario.

Atributo	Wip			
	Maneja frecuentemente por deporte	Maneja frecuentemente por trabajo	Maneja frecuentemente por compras	No Maneja frecuentemente por deporte
Ciclo-Infraestructura	0.231	0.119	0.071	0.255
Distancia de viaje	0.069	0.096	0.112	0.076
Seguridad vial	0.147	0.148	0.171	0.162
Clima	0.159	0.160	0.186	0.175
Seguridad ante robos	0.178	0.180	0.209	0.138
Condición vial	0.154	0.155	0.180	0.126
Costo de Viaje	0.067	0.148	0.070	0.063

Tabla 13. Importancia sobre los factores que influyen en la decisión de manejar bicicleta.

Mientras que los usuarios que manejan bicicleta por motivo de trabajo y compra prefieren elegir la seguridad ante robos, costo de viaje, condición vial, clima y seguridad vial como factores más importantes al momento de usar la bicicleta en una ciudad. Los usuarios que usan la bicicleta para hacer deporte son sensibles considerar la presencia de ciclo-infraestructura.

En conclusión, se puede decir que la presencia de ciclo-infraestructura es significativa para los viajes recreativos, dado que en la ciudad, se presentan este tipo de infraestructura en zonas verdes, en cambio para los usuarios de bicicleta por motivo de trabajo o compra prefieren usar vías con buenas condiciones viales, y seguras ante posibles robos y accidentes, dado que transitan, en la mayoría de los casos, en las vías de transporte motorizado.

El factor clima, para cualquier tipo de usuario es igualmente importante al momento de decidir el uso de la bicicleta y la distancia de viaje es elegida con mayor frecuencia por usuarios que realizan viajes con el propósito de realizar alguna compra, lo cual se puede establecer que los viajes más largos son usados por usuarios que manejan por motivo de deporte, y los cortos por motivo de compras. Finalmente, radica el hecho que la seguridad ante robos es elegido de primero y es un aspecto importante al momento de decidir manejar bicicleta, especialmente para viajes con propósito de realizar compras.

El costo de viaje al igual que la distancia, no es un aspecto significativo que incida en la decisión del uso de la bicicleta en la ciudad. Aun así, los usuarios que usan la bicicleta para transportarse a su trabajo o lugar de estudio, en algunos casos la eligen como modo de transporte, ya que ahorran dinero en la tarifa de viaje.

La segunda encuesta se realiza con el objetivo de conocer el atributo preferente para los usuarios en cuanto al aspecto de condición vial, estos resultados se pueden constatar a continuación.

Los usuarios que deciden usar la bicicleta por deporte prefieren que la ciudad cuente con ciclo-infraestructura como se presenta en las funciones de utilidad representadas en la ecuación 18 y ecuación 19. La demás atributos no dependen de las características del encuestado, debido a que las funciones de utilidad solo consideran la constante del modelo, como se ilustran en las ecuaciones mostradas a continuación.

$$U_{Pavimento} = 1.81 \quad (15)$$

$$U_{obstaculos} = 1.220 \quad (16)$$

$$U_{pendiente} = 0.481 \quad (17)$$

$$U_{inf} = 0.911 + 0.585 * dep \quad (18)$$

$$U_{anch} = 0.691 + 0.585 * dep \quad (19)$$

$$U_{somb} = 0 \quad (20)$$

$$U_{edifi} = -0.696 \quad (21)$$

Al aplicar la ecuación número 7 considerando las anteriores funciones de utilidad, se obtienen los resultados presentados en la Tabla 14. Los resultados consideran que las pendientes no son un obstáculo para usuarios al momento de manejar bicicleta y la presencia de ciclo-infraestructura, como en las anteriores encuestas, mejoran la facilidad de manejar bicicleta.

Además, el estado de las vías es el atributo más significativo al momento de manejar bicicleta, seguido por los obstáculos de las vías, y la presencia de ciclo-infraestructura.

Atributo	Wip	
	Usuario que maneja por deporte	Otro tipo de usuario
Estado de Pavimento	0.29	0.357
Obstáculos en las vías	0.1639	0.198
Pendiente	0.078	0.098
Presencia ciclo-infraestructura	0.21	0.145
Ancho ciclo-infraestructura	0.173	0.117
Sombra en la vía	0.048	0.058
Estado de edificios	0.024	0.029

Tabla 14. Importancia de factores relacionados a las condiciones viales.

La siguiente encuesta se realiza con el objetivo de conocer los atributos que influyen en percepción de la seguridad vial de los ciclistas. Como se establecen en las siguientes ecuaciones que representan las funciones de utilidad de las alternativas asociadas con la seguridad vial, los usuarios que manejan bicicleta les parece más importante la presencia de buses, carros o motos en las vías, mientras que la presencia de ciclo-infraestructura y las señales viales no son aspectos fundamentales que inciden en mejorar la seguridad vial peatonal en una vía.

$$U_{inf} = 0.855 - 0.467 * Maneja \quad (22)$$

$$U_{señ} = 0.927 - 0.467 * Maneja \quad (23)$$

$$U_{bus} = 0.415 \quad (24)$$

$$U_{car} = 0.416 \quad (25)$$

$$U_{mot} = 0.286 \quad (26)$$

$$U_{vel} = 0 \quad (27)$$

$$U_{peat} = -0.966 \quad (28)$$

En la Tabla 15, se detallan los pesos de los atributos que inciden en la percepción de seguridad vial de los ciclistas. Éstos son calculados usando las funciones de utilidad de cada alternativa explicadas con anterioridad.

Los pesos establecen cual atributo es importante según el tipo de usuario, en este caso se puede afirmar que las personas prefieren que las vías de la ciudad cuenten con ciclo-infraestructura en mayor consideración las personas que no manejan bicicleta con frecuencia. A su vez, los ciclistas prefirieren que el flujo de vehículos, buses y motos sea bajo en las zonas donde ellos transitan. Al contrario, factores como la velocidad vehicular y el volumen peatonal son atributos que no afectan la percepción sobre seguridad vial de los ciclistas de manera significativa, al igual que sucede con los peatones.

Atributo	<i>Wip</i>	
	Usuarios que manejan frecuentemente bicicleta	Otro tipo de usuario
Presencia ciclo-infraestructura	0.16	0.219
Ancho ciclo-infraestructura	0.18	0.246
Frecuencia de buses	0.170	0.141
Volumen vehicular	0.170	0.141
Volumen de motos	0.15	0.124
Velocidad vehicular	0.113	0.093
Volumen peatonal	0.043	0.035

Tabla 15. Importancia de factores relacionados a la seguridad vial.

La Tabla 16 presenta la importancia de los atributos sobre seguridad ante robos. Se destacan entre los atributos más importantes, la presencia de policías, la iluminación y presencia de otros ciclistas, lo cual mejora la seguridad ante robos. En este caso, cada valor de las utilidades es independiente al tipo de usuario, dado que ninguna variable fue significativa. Por lo que las probabilidades de elección son iguales para todos los usuarios.

$$U_{cam} = 0 \quad (29)$$

$$U_{pol} = 0.787 \quad (30)$$

$$U_{ilu} = 0.479 \quad (31)$$

$$U_{cic} = 0.195 \quad (32)$$

$$U_{rob} = -0.966 \quad (33)$$

Atributo	<i>Wip</i>
Presencia de Cámaras de seguridad	0.152
Presencia de policías	0.334
Iluminación	0.245
Volumen de ciclistas	0.184
Conocimiento de robos	0.084

Tabla 16. Importancia de factores sobre seguridad ante robos.

3.3. Formulación de los índices de accesibilidad de transporte no motorizado

La construcción de índices de accesibilidad se efectúa considerando el resultado de la encuesta explicada con anterioridad, en donde se obtuvo la importancia de cada atributo seleccionado en la revisión literaria.

A su vez, se diseñan índices matemáticos que representan las características de los andenes y de las zonas de estudio que afectan la accesibilidad peatonal.

La formulación del índice es realizada de la misma manera para ambos tipos de usuario de transporte no motorizado: ciclistas y peatones. El índice es expresado como la suma ponderada de los atributos seleccionados en la revisión literaria, como se representa en la ecuación número 34.

$$\text{Índice de accesibilidad } d_j = \sum_{i=1}^{n1} Wp(\sum_{i=1}^{n2} Wip * Cipj) \quad (34)$$

Donde,

- *Wp* es el peso del componente *p*, donde el peso es la probabilidad de elegir una alternativa como más importante, que se desarrolla mediante el modelo de elección discreta con datos de jerarquización
- *Wip* la importancia del atributo *i* del componente *p*.
- *Cipj* es una puntuación entre 0 y 1, que representa el valor del atributo *i* del componente *p*, el cual se establece según las características de la vía *j*.
- *n1* es el número total de componentes.
- *n2* es el número total de atributos

Las puntuaciones entre 0 y 1, *Cipj* representan las características de los andenes o de la vía que afectan la accesibilidad peatonal y de ciclistas. La recopilación de esta información se realiza mediante herramientas de Google y Base de datos secundarias.

La metodología de recolección de datos usando la herramienta de Google Earth consta en colocar una marca de posición en el punto de inicio de la medida y otra marca de posición en el punto final de ésta, a partir de la vista de Google Street View. Luego, se realiza la medición entre ambas marcas de posición mediante la herramienta regla desde la vista a nivel del suelo, como se detalla en las Figura 13 y Figura 14.

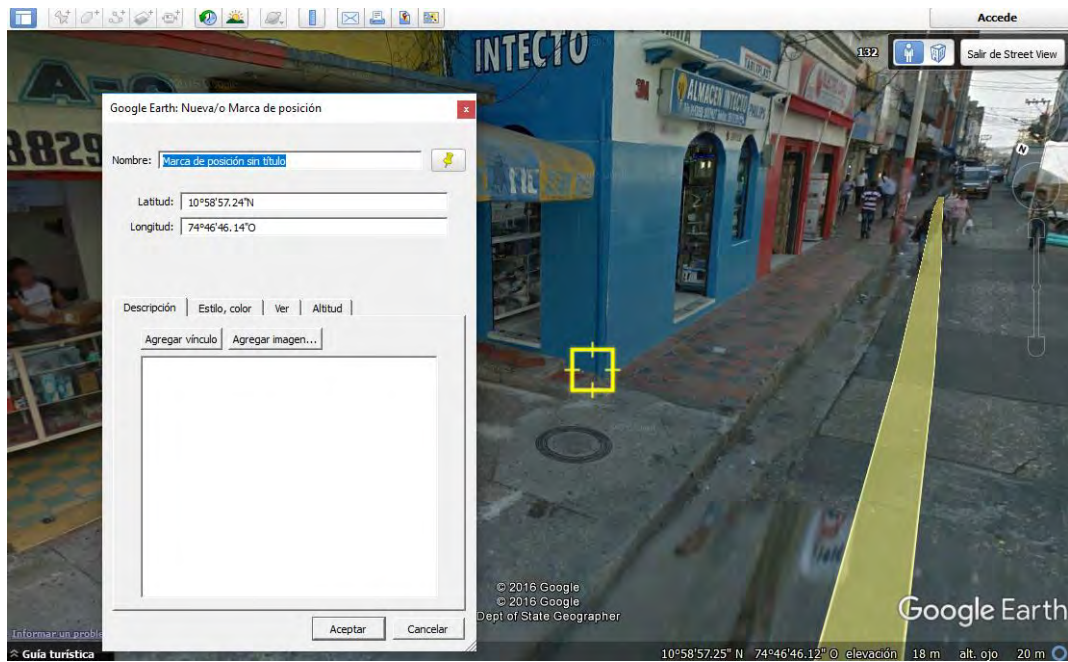


Figura 13. Primera etapa para toma de datos en Google Earth.
Fuente: Google (2016). Consulta: 12 Diciembre 2016, <http://earth.google.com>

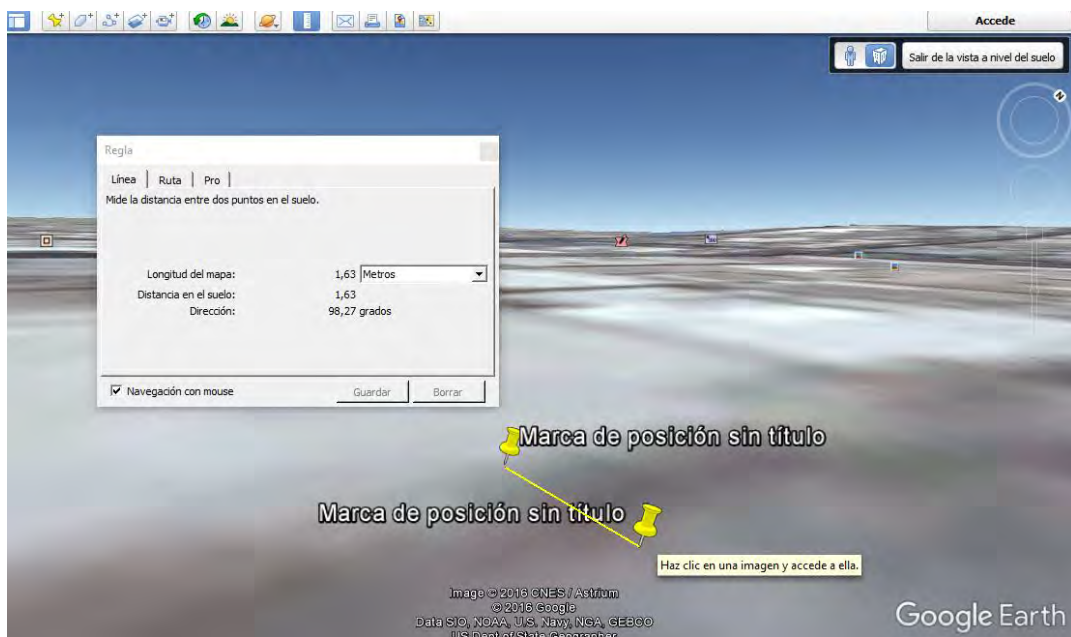


Figura 14. Segunda etapa para toma de datos en Google Earth.
Fuente: Google (2016). Consulta: 12 Diciembre 2016, <http://earth.google.com>

3.3.1. Formulación del índice de accesibilidad peatonal

La formulación del índice de accesibilidad se compone por el resultado de la encuesta explicada con anterioridad y las puntuaciones dadas a los atributos que afectan la accesibilidad.

La metodología propuesta para diseñar las puntuaciones de cada atributo consta de primero realizar la descripción de cada atributo del índice de accesibilidad peatonal; Movilidad, Seguridad vial, Seguridad ante robos, Comodidad y Atractividad. Luego, establecer la modelación matemática de cada uno de estos atributos en cuestión, la cual depende de los estándares de los elementos del espacio público presentados en la zona de estudio.

A continuación, se presenta la descripción y modelación matemática del componente de movilidad peatonal.

Movilidad peatonal: Se describe como la facilidad con la que un peatón transita por un andén. Éste debe ser continuo y paralelo a las calles. Además, cualquier elemento es un obstáculo si se presenta en la zona de circulación peatonal.

Los estándares de los andenes son las medidas que deben cumplir cada elemento del andén. En esta investigación, se establecen según el Plan de Ordenamiento Territorial de la zona de estudio.

Los andenes se componen por una franja peatonal y una franja de amoblamiento. La franja peatonal es la zona donde circulan los peatones, la cual debe medir 1.5 metros de ancho. Mientras, la franja de amoblamiento que es la zona que separa la franja peatonal de la calzada debe cumplir con un ancho de 1.2 metros, en el caso que sea arborizada y con 0.7 metros, sin arborización.

Las rampas de accesos a vehículos a las edificaciones que atraviesan el andén deben medir 2.5 metros de ancho, y no se pueden colocar en la zona de franja de circulación peatonal, sino en la zona de amoblamiento.

En el manual del espacio Público (2014) se establecen distintos tipos de sección o perfil vial típico de una vía, divididos por perfiles viales planificados y no planificados. Los perfiles viales planificados están compuestos por una zona municipal conformada por calzada vehicular, dos franja de andén, y espacio privado con afectación pública.

La franja de andén se encuentra confinada entre la línea de bordillo y la línea de propiedad, mientras que la calzada vehicular se encuentra entre dos líneas de bordillo, también entre la línea de propiedad y línea de construcción se encuentra el antejardín el cual debe cumplir una función pública de orden ambiental como se ilustra en la Figura 15.

Los perfiles viales no planificados también se encuentra compuestos por una zona municipal, pero en este caso no existen antejardines dado que la línea de construcción es la misma línea de propiedad (Figura 16). Estos perfiles tienen distintas dimensiones según el tipo de vía o según las posibilidades que permiten la disposición de los elementos constitutivos de un andén.

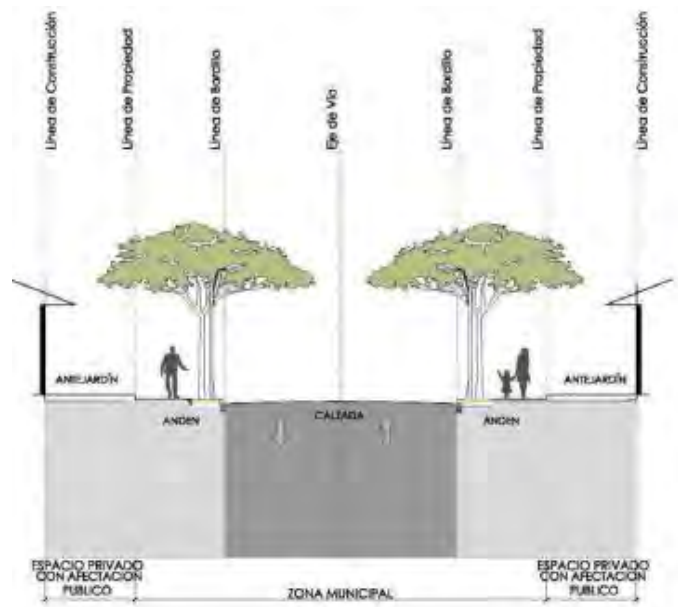


Figura 15. Sección o perfil vial de un sector planificado.

Nota: Fuente: Secretaría Distrital de Planeación de Barranquilla (2014). Manual del Espacio Público.

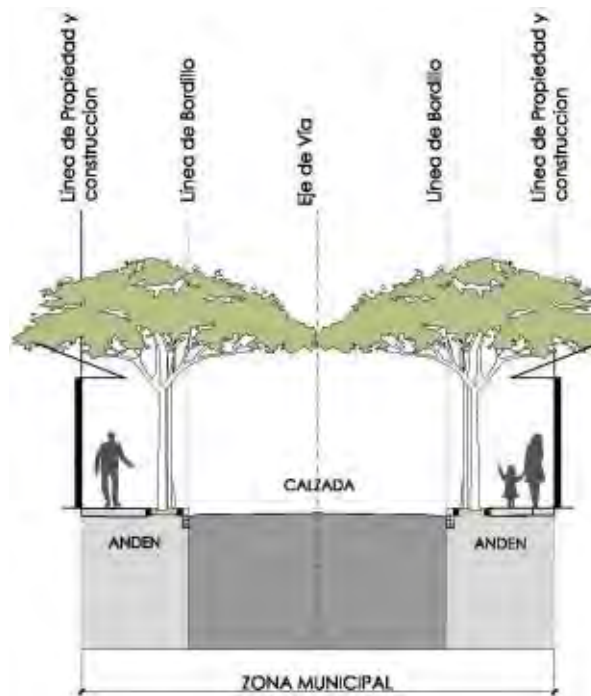


Figura 16. Sección o perfil vial de un sector no planificado.

Nota: Fuente: Secretaría Distrital de Planeación de Barranquilla (2014). Manual del Espacio Público.

Anteriormente, se describe el componente de movilidad peatonal. A continuación en la Tabla 17, se detalla la descripción matemática de los atributos que describen dicho componente y la fuente de datos donde se extrajo la información requerida.

Atributo	Descripción	Índice matemático [Ctp]
Ancho del Anden	<p>*Ancho del andén en metros</p> <p>*Se establece mediante función continua entre 0 y 1 que representa el ancho efectivo del andén, presentado por Moura (2017) en su investigación</p>	Función entre 0 y 1 del ancho efectivo del andén (Figura 17), considerando el estándar del POT, donde el andén debe medir entre 1.5 y 3.2 metros.
Condición del Anden	<p>*Estado del pavimento del andén: Bueno y Malo.</p> <p>*Un pavimento bueno no tiene huecos o grietas.</p>	[1(Buen Estado),0(Mal Estado)]
Obstáculos en el anden	<p>*Porcentaje de obstáculos en el andén</p> <p>*Obstáculos son elementos que impiden el paso del peatón por el andén. Por ejemplo, zonas de parqueo en el andén, árboles, casetas comerciales y postes de luz</p>	$1 - \frac{\text{Longitud Obstaculo}}{\text{Longitud total Anden}}$
Discontinuidades en el anden	<p>*Porcentaje de discontinuidades en el andén</p> <p>*Las discontinuidades son segmentos de la zona de circulación que ocasionan que el peatón cambie su rumbo en línea recta debido a bordillos o accesos vehiculares a edificios (Decreto No 0212 de 2014).</p>	$1 - \frac{\text{Longitud Discontinuidad}}{\text{Longitud total Anden}}$

Tabla 17. Descripción de las variables sobre movilidad peatonal

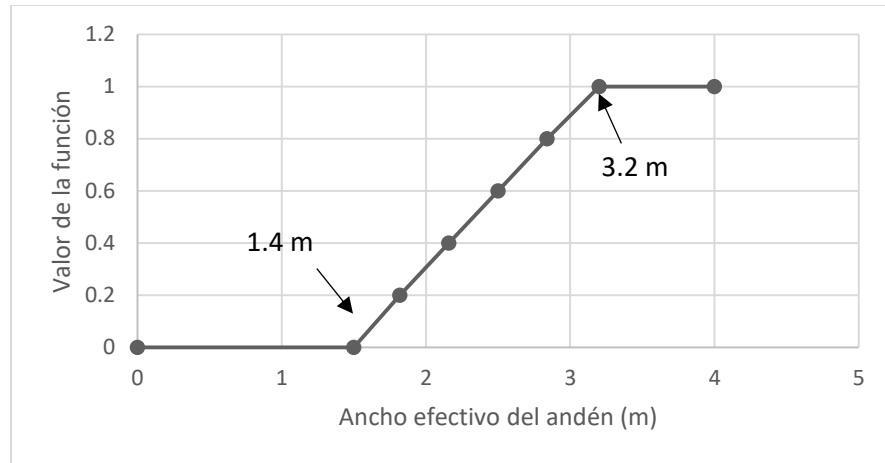


Figura 17. Función del ancho efectivo del andén

Seguridad Vial: La descripción matemática seguridad vial se basa en el Plan de Ordenamiento territorial (Decreto No 0212 de 2014), Manual del Espacio Público (2014) y manual de accesibilidad de las personas al medio físico (2000). En estos manuales se establecen los estándares para las cebras, puentes peatonales, y semáforos viales.

Las cebras peatonales priorizan el tránsito peatonal en la calzada, es decir permiten que los vehículos bajen su velocidad para que los peatones puedan cruzar la vía. Si se encuentre un desnivel entre la cebras y calzadas, deben construirse vados para evitar algún accidente.

Los puentes peatonales son elementos del espacio público instalados entre andenes, contruidos con el objetivo de evitar que los peatones usen la calzada. Se deben construir con bordillos y pasamanos continuos de altura entre 75 cm y 90 cm, tomando el piso como punto de referencia.

Las señales viales como semáforos deben estar instaladas en la zona de amoblamiento, y se deben instalar en zonas con alto flujo de vehículos. En caso que se encuentre en la zona de circulación peatonal son considerados obstáculos.

A continuación se muestran los atributos y los niveles del componente de seguridad vial (Tabla 18).

Atributo	Descripción	Índice matemático [Ci]	Fuente de datos
Velocidad Vehicular	<p>*Se representa en kilómetros/hora (km/h).</p> <p>*El intervalo se extrae del informe del Plan Maestro de Movilidad, 2012.</p>	<p>[0(> 48), 0.2(32 – 48), 0.4(24 – 32), 0.6(16 – 24), 0.8(8 – 16), 1(< 8)km/h]</p>	Base de datos secundaria extraído del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla realizado en el 2012.
Volumen Vehicular	<p>*Se establece en vehículos/hora (veh/h).</p> <p>*El intervalo se extrae del informe del Plan Maestro de Movilidad, 2012.</p>	<p>[0(> 1134), 0.25(542 – 1133), 0.5(254 – 541), 0.75(88 – 253), 1(15 – 87) veh/h]</p>	Base de datos secundaria extraído del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla realizado en el 2012
Semáforos en la vía	<p>*Cobertura de semáforos en el segmento de vía.</p> <p>* Tiene cobertura si en la intersección de la vía analizada se presenta al menos un semáforo.</p>	<p>[0 (Sin cobertura), 1 (con cobertura)]</p>	Google Earth
Cebras o puentes peatonales en la vía	<p>*Presencia de puentes peatonales o cebras en la vía.</p> <p>*Se cuenta como presencia las cebras cumplen con los estándares del POT.</p>	<p>[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]</p>	Google Earth
Tiempo de cruce de calle	<p>*Tiempo de demora para cruzar la calle en segundos.</p> <p>*El intervalo se establece según Beiler y Phillips (2015)</p>	<p>$\frac{\text{Ancho de la vía}}{\text{Velocidad promedio}}$</p> <p>Si: [1(< 5), 0.8(6 – 15), 0.6(16 – 25), 0.4(26 – 35), 0.2(36 – 45)] 0(> 45)s]</p>	Google Earth

Tabla 18. Descripción de las variables sobre seguridad vial

Seguridad ante robos: Los atributos que describen este componente son elementos que mejoran la percepción de inseguridad ante algún posible robo en la ciudad.

La ciudad objeto de estudio es insegura debido a los casos de robos que se han presentado con frecuencia. Esto es corroborado en la encuesta de percepción de explosión del ranking, donde el resultado fue que la seguridad ante robos es el componente más importante al momento de decidir caminar.

Para determinar los atributos que describen este componente en la ciudad, se considera la encuesta realizada en la zona de estudio por el Fondo de Seguridad y Convivencia ciudadana (Jorge Avila Pareja, 2014) . Dicha encuesta es encaminada a establecer cuáles serían las mejores soluciones según los ciudadanos para disminuir la criminalidad en la ciudad.

El resultado generado fue que el 55% de los encuestados prefieren las cámaras de seguridad y el 45% de ellos aseguran que la presencia de agentes de policías es una acción que ayuda a disminuir violencia y criminalidad en la ciudad.

Los demás atributos como presencia de otros usuarios en las vías, conocimiento de zonas peligrosas y presencia de grafitis en los edificios son seleccionados según la revisión literaria expuesta en el capítulo 2.

A continuación en la Tabla 19 se describen matemáticamente las variables antes mencionadas relacionadas con el componente de seguridad ante robos.

Atributo	Descripción	Índice matemático [Ci]	Fuente de Datos
Policías a la vista	*Presencia de caís en el andén	[0 (sin cobertura) 1 (con cobertura)]	Google Earth
Cámaras de Seguridad	*Presencia de cámaras de seguridad.	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Presencia de otros usuarios	*Se describe como el flujo peatonal en el andén, es decir peatones/hora (p/h)	[1(> 586), 0.75(471 – 585), 0.5(323 – 470), 0.25(146 – 322), 0(17 – 145) p/h]	Base de datos secundaria extraído del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla realizado en el 2012
Conocimiento de zonas peligrosas	*Índice de peligrosidad debido a hurtos, homicidios en barrios.	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Base de datos secundaria
Grafitis en los edificios	*Presencia de grafitis en los edificios	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth

Tabla 19. Descripción de las variables de seguridad ante robos

Comodidad: Es el nivel de agrado dado por la condiciones del ambiente construido al momento de caminar. Los atributos que describen la comodidad peatonal son recopilados mediante la herramienta Google Earth, como se detallan en la Tabla 20.

Atributo	Descripción	Índice matemático [Ci]	Fuente de datos
Visibilidad agradable a la vista	*Los edificios no son agradables si no se encuentran pintados adecuadamente.	[0 (Mal estado), 1 (Buen estado)]	Google Earth
Ancho de la calle	*Metros de ancho de la calle	Se establece un intervalo constante según los valores registrados en la ciudad.	Google Earth
Árboles en el andén	*Presencia de árboles en cada andén	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Limpieza en el andén	*El andén está limpio, si el pavimento no se presenta basuras	[1 (Limpio), 0 (Presencia de basuras)]	Google Earth

Tabla 20. Descripción de los atributos sobre comodidad.

Atractividad: Éste factor es el menos importante al momento de decidir caminar por un andén según el resultado de la encuesta de percepción aplicada en la zona de estudio.

Este componente establece el grado de interacción de las personas entre sí, debido a la presencia de establecimientos públicos o privados en la ciudad.

Estos atributos sobre Atractividad son tomados mediante observación en Google Street View, excepto acceso a rutas de buses, debido a que se extrae de un sistema de información geográfica.

En la Tabla 21, se presentan la descripción matemática para cada atributo relacionado con Atractividad

Atributo	Descripción	Índice matemático [Ci]	Fuente de datos
Comercio	*Presencia de zona de comercio en el andén	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Instituciones o Industrias	*Presencia de zona de instituciones o industrias en el andén	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Parques o Recreación	*Presencia de zona de parques o plazas en el andén	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Residencia	*Presencia de zona residencial en el andén	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Acceso transporte público	*Frecuencia de las rutas de transporte público en la vía	Se establece un intervalo constante según los valores registrados en la ciudad.	Base de datos secundarios y herramientas SIG

Tabla 21. Descripción sobre los atributos de Atractividad

3.3.2. Formulación del índice de accesibilidad de bicicletas

El índice de accesibilidad para ciclistas es definido como el grado de comodidad, seguridad y facilidad de manejar bicicleta en una ciudad considerando aspectos como presencia de ciclo-infraestructura, distancia y costo al llegar algún destino, condiciones viales, seguridad vial y seguridad ante robos entre otros aspectos mencionados anteriormente.

Este índice consta de realizar una suma ponderada de atributos sobre infraestructura de transporte urbano que afecta la movilidad de un ciclista. El peso es la probabilidad de elegir

una alternativa como más importante. Se construye mediante una encuesta de percepción con datos de jerarquización, la cual se analiza con modelos de elección discreta.

La probabilidad de elección depende de variables como el propósito del viaje más frecuente al manejar bicicleta (trabajo, estudio, compras, visita a un amigo, otros), frecuencia al manejar bicicleta, posesión de bicicleta y variables socioeconómicas como la edad, el sexo, estrato. Esto conlleva a que el valor del índice varíe según las características del usuario.

A continuación, al igual que en el índice peatonal, se describen los atributos que afectan la decisión de elegir manejar bicicleta en una ciudad

Presencia y tipo de ciclo-infraestructura: Es una variable dummy, donde 1 es si se presenta dicho tipo de ciclo-infraestructura 0 sino. Los tipos de infraestructura son los siguientes:



Figura 18. Ciclorruta exclusiva con separación física.

Nota: Fuente: Ministerio de Transporte Colombia (2016).

Guía colombiana de ciclo-infraestructura

Las ciclorrutas en calzadas son vías exclusivas para la circulación de bicicletas segregadas físicamente del tráfico vehicular (Figura 18).



Figura 19. Ciclorruta exclusiva sin separación física.

Nota: Fuente: Ministerio de Transporte Colombia (2016).

Guía colombiana de ciclo-infraestructura

Las ciclobandas en calzada son vías exclusivas para la circulación de bicicletas segregadas visualmente mediante marcas, y otros elementos que indiquen la presencia de éstas (Figura 19).

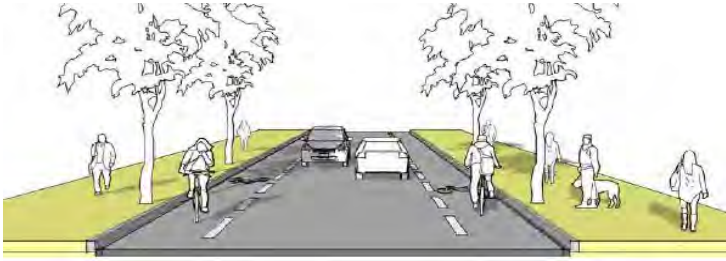


Figura 20. Ciclorruta en el andén

Nota: Fuente: Ministerio de Transporte Colombia (2016).

Guía colombiana de ciclo-infraestructura

Las ciclobandas en el andén son vías exclusivas para la circulación de bicicletas segregadas del tráfico vehicular (Figura 20).



Las bandas ciclo-preferentes son bandas de la calzada dedicada a la bicicleta, aunque pero pueden ser usada por el resto de los vehículos (Figura 21).

Figura 21. Bandas ciclo-preferentes

Nota: Fuente: Ministerio de Transporte Colombia (2016).
Guía colombiana de ciclo-infraestructura

Distancia de viaje: Es una variable cuantitativa, la cual establece la distancia entre pares origen-destino.

Existen distintos tipos de usuarios, se encuentran el usuario cotidiano, uso recreativo o paseo, ciclo turista, ciclista deportivo de montaña, y ciclista deportivo de ruta. Cada uno diferencia según en el motivo de viaje, distancia de viaje, modalidad del viaje, y velocidad del viaje.

Según la Guía colombiana de ciclo-infraestructura (2016), los viajes por estudio y trabajo deciden usar la bicicleta si las distancias son cortas, mientras que los usuarios que usan la bicicleta por motivo de recreación no consideran la distancia de viaje un impedimento al manejar bicicleta.

Esta variable es considerada en el modelo de demanda directa para explicar los viajes de bicicleta entre pares Origen-destino. El índice no considera este factor, debido a que la distancia de viaje no pertenece a los elementos del ambiente construido que afectan el grado de seguridad, comodidad y movilidad al momento de caminar bicicleta en una vía.

Clima: Este factor influye en la decisión de manejar bicicleta en una ciudad, dado que es un motivo para no usarla en determinadas horas del día. Esto se corrobora en la encuesta detallada en el ANEXO 2, donde se pregunta a las personas a qué hora maneja bicicleta en la ciudad.

Los encuestados respondían un horario del día, el cual se clasifica como; 4 a.m. y 8:30 a.m., 8:30 a.m. y 11:30 a.m., 11:30 a.m. y 2 p.m., 2 p.m. y 5:30 p.m. y 5:30 p.m. en adelante.

En el resultado de encuesta fue que el 36% prefieren manejar en la mañana entre 4 a.m. y 8:30 a.m., mientras que el 47.44% prefieren manejar bicicleta después de 5:30 p.m.

Por lo anterior, en la planeación de este modo de transporte la plantación de árboles y plantas como protección solar al momento de colocar ciclorrutas es un aspecto importante para las personas en la ciudad.

Este factor no es considerado en el índice debido a que la zona de estudio, el clima es constante. En futuras investigaciones, se puede realizar esta metodología comparando la accesibilidad de bicicletas en distintas ciudades. Para ello, se debe formular matemáticamente este factor.

Condiciones viales: Son elementos del ambiente construido que afectan la comodidad y facilidad para transitar bicicleta en una vía.

Según la guía colombiana de infraestructura (2016), las condiciones del pavimento, las pendientes, el ancho del bici-carril son aspectos importantes que inciden al momento de manejar bicicleta en una vía.

Estos atributos que describen las condiciones viales, se establecen según la normatividad del diseño de ciclo-infraestructura presentada en el Decreto 798 del 2010, detallados en la Tabla 22.

Atributo	Descripción	Índice matemático [Cip]	Fuente de datos
Condiciones de la vía	*Un pavimento bueno no tiene huecos o grietas, en este se incluye el estado de los andenes.	[1 (Andenes y vía en Buen estado), 0.5 (Por lo menos un andén o vía en mal estado), 0 (Andenes y vía en mal estado)]	Google Earth
Obstáculos en la vía	*Obstrucción alta se le llama a la falta de vados, presencia de zonas de parqueo, presencia de postes o casetas comerciales.	1 (Obstrucción baja), 0.5 (Obstrucción media), 0 (Obstrucción alta)]	Google Earth
Pendiente en la vía	*Grado de inclinación de la vía. *Se establece según las "Ciclociudades" Tomo V. (ITDP & I-CE, 2011a) y "Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas" (2016)	[1 (3% – 5%), 0.5 (6% – 9%), 0 (> 9%)]	Base de datos secundaria (Digital Elevation Model)
Presencia de ciclorrutas	* Es una variable dummy que representa la presencia a ausencia de ciclorrutas	[0 (Sin presencia), 1 (con presencia)]	Google Earth y visitas de campo.
Ancho de la ciclorruta	*Metros de ancho de una ciclorruta. *Se establece el criterio según los manuales como "Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas" (2016)	*Si la vía es de un sentido: [0 (< 1.4 metros), 1 (≥ 1.4 metros)] *Si la vía es de doble sentido: [0 (< 2.6 metros), 1 (≥ 2.6 metros)]	Google Earth y visitas de campo.
Sombra en la vía	*Presencia de árboles en el andén, se cuenta solo si éste no obstaculiza la franja de circulación.	[0 (Sin presencia), 1 (con presencia)]	Google Earth
Visibilidad agradable a la vista	*Los edificios no son agradables si presentan manchas o se encuentra mal pintados.	[0 (Mal estado), 1 (Buen estado)]	Google Earth

Tabla 22. Descripción de atributos sobre movilidad y comodidad

Seguridad vial: Wegman et al. (2012) aseguran que un diseño de instalaciones para bicicletas adecuado puede reducir el riesgo de accidentalidad. El diseño de estas instalaciones para bicicletas debe considerar localización adecuada de señales viales, dispositivos de control de tráfico, presencia de ciclorrutas, entre otros.

En la guía colombiana de ciclo-infraestructura (2016) se establece que los elementos que inciden en la seguridad vial son velocidad e intensidad de tráfico, señales viales horizontales y verticales.

En este caso se consideran los siguientes elementos descritos en la siguiente Tabla 23.

Atributo	Descripción	Índice matemático [Ci]	Fuente de datos
Presencia de ciclorrutas	*Es una variable dummy para cada tipo de ciclorruta descrita anteriormente.	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth y bases de datos secundarias.
Presencia de semáforos y señales viales	*Cobertura de semáforos en el segmento de vía.	[0 (Sin cobertura), 1 (con cobertura)]	Google Earth
Volumen de buses en la vía	*Se mide por la frecuencia de buses en una vía	Se establece un intervalo constante según los valores registrados en la ciudad.	Bases de datos secundarias
Volumen vehicular	*Flujo vehicular en la vía. * Se establece según la el tipo de vía,	[0 (Vías principales), 0.5 (Vías secundarias)], 1 (Vías locales)	Base de datos secundaria
Velocidad Vehicular	*Velocidad de la vía. Se establece según la el tipo de vía	[0 (Vías principales), 0.5 (Vías secundarias)], 1 (Vías locales)	Base de datos secundaria
Demanda peatonal	*Flujo peatonal en la vía	Se establece un intervalo constante según los valores registrados en la ciudad.	Base de datos secundaria

Tabla 23. Descripción de atributos sobre seguridad vial

Seguridad ante robos: Se describen los elementos que contribuyen a que un ciclista se sienta seguro ante algún posible robo cuando maneja bicicleta en una vía.

Muchos autores no contemplan el uso de éstos atributos como se ha descrito anteriormente, sino la aplicación de factores relacionados con seguridad vial y movilidad vial. Aunque, dado el contexto urbano de inseguridad en la zona de estudio, se consideran los atributos presentados en la siguiente Tabla 24.

Atributo	Descripción	Índice matemático [Ci]	Fuente del datos
Policías a la vista	*Presencia de estaciones de policía en la vía	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Cámaras de Seguridad	*Presencia de cámaras de seguridad	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Google Earth
Flujo de ciclistas	*Flujo de ciclistas en la vía *Se calcula mediante modelo de asignación considerando la matriz OD de viajes peatonales.	Flujo de ciclistas Se establece un intervalo constante según los valores registrados en la ciudad.	Base de datos secundaria
Conocimiento de zonas peligrosas	*Índice de peligrosidad debido a hurtos, homicidios en barrios.	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Base de datos secundaria
Iluminación en la vía	*Presencia de postes de iluminación en la vía	[0 (Ausencia), 1 (Presencia)]	Base de datos secundaria

Tabla 24. Descripción de atributos sobre seguridad ante robos

Costo de viaje: La probabilidad de elección de este atributo que incide al momento de comparar las tarifas de viaje de los distintos modos de transporte. El ingreso económico del individuo incide para conocer la disposición a pagar de la tarifa del viaje.

Es un atributo importante dado que las personas con mayor probabilidad de usar bicicleta por trabajo son usuarios de estratos bajos según se establece en el Plan Maestro de Movilidad, por lo cual este atributo depende de las características socioeconómicas de las personas.

Al igual que la distancia de viaje, no se considera dentro del índice, debido a que no forma parte de los elementos relacionados con el ambiente construido, sino que éste varía según la característica del usuario.

3.4. Estimación de índices de accesibilidad de transporte no motorizado

La metodología de diseño de índices de evaluación de accesibilidad peatonal se aplica en el centro de la ciudad de Barranquilla, mientras que los índices de accesibilidad para bicicletas, se escogen las vías más importantes de la ciudad.

3.4.1. Estimación de índices de accesibilidad peatonal

El centro de Barranquilla, desde sus inicios, se estableció sin ninguna planificación urbana. Esta zona surge por una disposición comercial que se mantiene en la actualidad.

Como se puede observar en la Figura 22, este barrio se ubica en el extremo centro-oriental de la ciudad. Está conformado por las manzanas: 82, 131, 133, 83, 130 y 132, como se muestra en la Figura 22. El centro histórico incluye adicionalmente la manzana No. 79, este último no aplica dentro de la zona de estudio.

El Barrio centro representa la identidad cultural de Barranquilla, debido a que cuenta con varios elementos históricos como el paseo Bolívar, la plaza San Nicolás, Centros administrativos locales y nacionales como la alcaldía o la Gobernación. Por lo cual la restauración de éste, afianzaría la memoria historia de la ciudad.

A pesar de la importancia de esta zona para la ciudad, el uso del suelo es comercial primordialmente, lo cual afecta actividades financieras, de vivienda e institucionales. Además, la zona limita con barrios como Barlovento y Barranquillita, que son conocidos por presentarse problemas de inseguridad y pandillas locales.

Por otra parte, la contaminación ambiental afecta esta zona, debido a la falta de mantenimiento de zonas verdes y problemas con el sistema de caños de la ciudad.

Los caños presentes en la zona centro hacen parte de la cuenca baja de río Magdalena y numerosos arroyos. La contaminación es causada por vertimientos de aguas negras y desechos.

La contaminación visual también es un factor importante que afecta a la zona, debido a la apropiación ilegal del espacio público. Estos peatones flotantes son cerca del 66% de las 15000 personas que transitan diariamente por el sector, las cuales a su vez la mayoría son de características socioeconómicas y nivel de educación bajo según se informa en el Plan Maestro de Movilidad 2012.

Las anteriores características del centro, influyen en la falta de identidad con el espacio y el deterioro mobiliario de la zona.

Una de las iniciativas del POT 2011 es la restauración del centro de Barranquilla considerando aspectos como recuperación de la malla vial y del espacio público, mejorar el medio ambiente y generar zonas verdes y cambios en los usos del suelo.



Figura 22. Delimitación del centro histórico.
Fuente del Plan Maestro de Movilidad 2012

Para aplicar el índice, se usa el programa ARCGIS, con el cual se georreferencian los atributos que afectan la accesibilidad peatonal.

El mayor valor del índice es 0.6952, es decir que ninguna vía del Centro de la ciudad cumple con el 100% de los requisitos de dicho índice para ser un tramo con alto grado de comodidad, seguridad y movilidad para caminar (Figura 23).

Además, los tramos con mayor valor del índice de accesibilidad peatonal son la Calle 34, la Carrera 46 y vías cercanos a la Gobernación (Calle 40 con Carrera 45). Al contrario, de las zonas del Este del mapa, las cuales se encuentran en peor estado y con mayor índice de inseguridad.

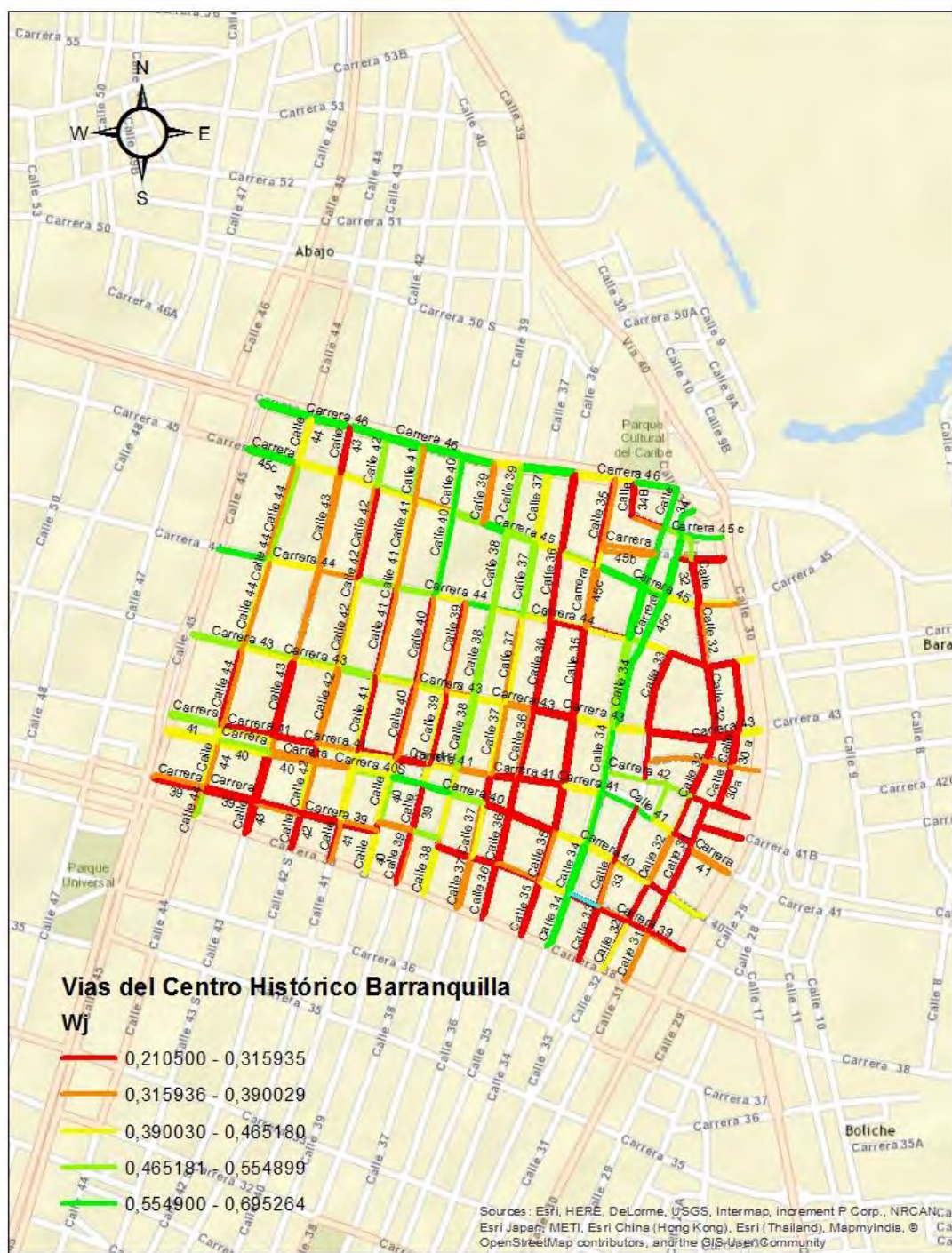


Figura 23. Índice de accesibilidad peatonal en el centro histórico

La Calle 34, nombrada como el Paseo Bolívar, se detalla en la Figura 24. Ésta se caracteriza por uso del suelo es comercial, además es la vía con valores más altos de accesibilidad peatonal, dado que los andenes se encuentran en buen estado, con pocas obstrucciones y discontinuidades. Asimismo, los tramos de la calle se encuentran sin presencia de basuras y árboles en los alrededores.

A pesar de lo anterior, la zona presenta alta inseguridad vial e inseguridad ante robos, debido al tránsito de vehículos y de buses, y la ausencia de estaciones de policías cercanas.



Figura 24. Fotografía de la Calle 34 extraída de Google Earth
Fuente: Google (2016). Consulta: 12 Diciembre 2016, <http://earth.google.com>

La carrera 46 presenta mayores valores del índice de accesibilidad peatonal que otros tramos, debido a que se han realizado inversiones en infraestructura vial recientemente, a su vez, se presentan sitios de interés como museos, zonas verdes y bancos. Esta zona, también, cuenta con una mejor seguridad vial y seguridad ante robos que en el resto de los tramos de la zona de estudio.

Como se puede evidenciar en la Figura 25 el andén es continuo y se encuentra en buen estado, limpio y con árboles cercanos, por lo que es lógico que sea el tramo con mayor índice de accesibilidad peatonal.



Figura 25. Fotografía de la Carrera 46 extraída de Google Earth
 Fuente: Google (2016). Consulta: 12 Diciembre 2016, <http://earth.google.com>

La calle 30, presentada en la Figura 26, es el tramo con los valores más bajos de accesibilidad peatonal, debido a que la vía está en mal estado, no se encuentran andenes, y la obstrucción es alta. Aun así, seguridad vial no es baja, debido a que el volumen de carros y buses es prácticamente nulo.

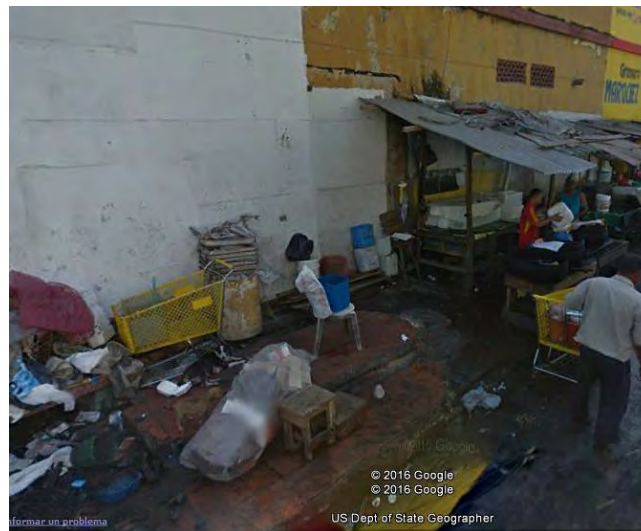


Figura 26. Fotografía de la Calle 30 extraída de Google Earth
 Fuente: Google (2016). Consulta: 12 Diciembre 2016, <http://earth.google.com>

3.4.2. Estimación del índice de accesibilidad para ciclistas

Los perfiles viales de la ciudad de Barranquilla están divididas en siguientes tipos: Vías principales, las cuales son las vías arteriales que conectan todas las zonas de la ciudad, vías secundarias y terciarias, que conectan zonas de la ciudad con las vías principales.

Las anteriores tipos de vías se ilustran en la Figura 27, las cuales son las vías escogidas para la estimación del índice de accesibilidad para ciclistas, debido a que son los tramos más cargados por viajes de bicicletas según los resultados del Plan de Movilidad de la ciudad de Barranquilla realizado en el año 2012.

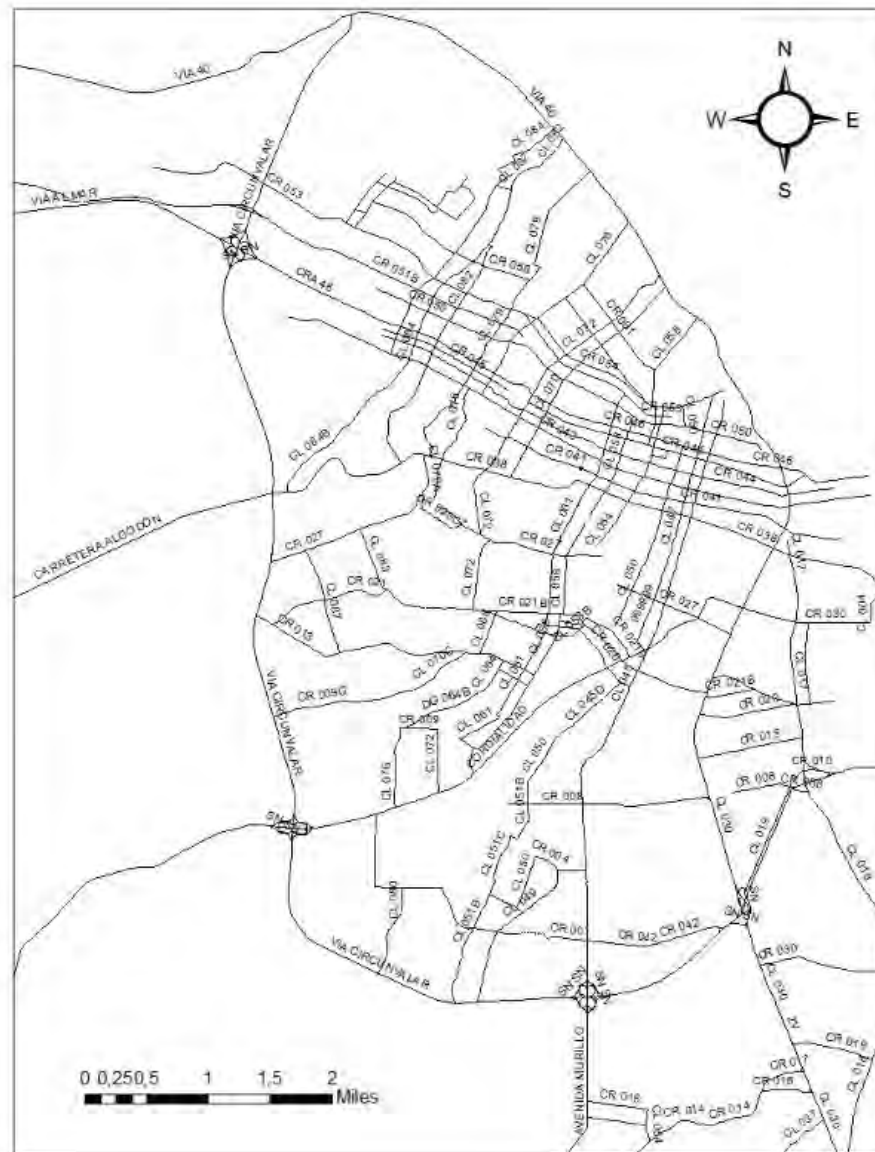


Figura 27. Zona de Estudio de Bicicletas en Barranquilla

Luego de la selección de la zona de estudio mostrada en la Figura 27, se realiza la estimación del índice considerando la ecuación 34 y los pesos del índice mostrados en las Tablas del capítulo 3.2.2.

Estas Tablas explican las posibles restricciones en cuanto a la movilidad en bicicleta en la ciudad de Barranquilla, las cuales fueron georreferenciadas en ARCGIS, al igual que el índice de accesibilidad peatonal.

A continuación en las Figuras 29 y 30, se demuestra el índice de accesibilidad de bicicletas. Se puede observar que tanto para trabajo como para deporte el valor del índice en las vías es similar.

Los valores del índice son más bajos para propósito de deporte, debido a que en la ciudad no se presenta ciclo-infraestructura y ésta variable es una de las que más incide en el valor del índice.

Asimismo, el mayor valor es 0.71 que se encuentra en la Carrera 45 con Calle 50 (Figura 28) en la Catedral Metropolitana María Reina, cerca de una Plaza, y una estación de Policía.



Figura 28. Fotografía de la Carrera 45 Calle 50 extraída de Google Earth

Fuente: Google (2016). Consulta: 12 Diciembre 2016, <http://earth.google.com>

Por otra parte, se puede notar que las vías con mayor valor de accesibilidad de bicicletas, se encuentran agrupadas en el Norte de la ciudad, donde la seguridad ante robos y movilidad es más alta que en las demás zonas.

Las vías con bajo índice de comodidad, movilidad y seguridad al manejar bicicletas son la Carrera 41 con Calle 30 en el centro de la ciudad dado el mal estado de las vías y alta inseguridad ante robos.

Adicionalmente, tramos con bajo valor de este índice se encuentran la Avenida Circunvalar, debido a que es una vía con alto tráfico vehicular y baja seguridad vial.

La Avenida Cordialidad se encuentra en mal estado en distintos tramos y con baja seguridad vial.

La Carrera 38 desde la Circunvalar hasta la Calle 82, presenta altas pendientes y mal estado en infraestructura vial. En general, las vías con alto índice son las vías colectoras, que se encuentran en el norte de la ciudad, y con menor valor de accesibilidad son los tramos del Sur del mapa y vías principales, que conectan todas las zonas de la ciudad.



Figura 29. Índice de accesibilidad para ciclistas (Trabajo)



Figura 30. Índice de accesibilidad para ciclistas (Deporte)

4. Propuesta de una metodología para priorización de infraestructura vial

La inversión en infraestructura vial considerada en esta investigación es la construcción de ciclorrutas en la ciudad.

Para ello se consideran dos fases, en la primera fase se priorizan las ciclorrutas de las vías principales y la segunda fase consiste en la creación de circuitos de ciclorrutas que conecten las vías locales con las principales.

Para tomar la decisión sobre cuales vías priorizar se aplica el modelo de demanda directa, con el fin de predecir los viajes de bicicletas entre pares Origen-Destino.

Los viajes de bicicletas son explicados por variables como áreas de los usos del suelo, tiempo de viaje y el índice de accesibilidad para ciclistas.

La hipótesis es que al aumentar el valor del índice, aumenta la demanda entre pares Origen-Destino. Por ello, los corredores con mayor demanda potencial, después de simular la localización de ciclorrutas son aquellos que deben ser primeramente construidos.

El primer paso es realizar el análisis de la demanda de viajes en bicicletas, para ello se aplican encuestas Origen-Destino tipo cordón, es decir se interceptan a los ciclistas al momento en que se encuentran manejando bicicleta en las vías.

La encuesta consta de preguntar el origen del viaje y la hora de inicio de viaje, asimismo el destino de viaje y su hora de finalización, adicionalmente se pregunta la ruta usada, el estrato y el propósito del viaje del individuo.

Los lugares donde se aplican la encuesta se muestran en la siguiente Tabla 26, en cada lugar se ubica un encuestador durante las horas de la mañana comprendidas entre 6:00 a.m. y 9 a.m. y horas de la noche entre 5:00 p.m. y 7:30 p.m.

PUNTO DE ENCUESTA	PUNTO DE ENCUESTA	PUNTO DE ENCUESTA
CALLE 30 CARRERA 17	CARRERA 14 CON CORDIALIDAD	CARRERA 14 CALLE 30
CALLE 30 CARRERA 30	CARRERA 1C CALLE 63 (SOLEDAD)	UNIVERSIDAD DE LA COSTA (CUC)
CALLE 30 CARRERA 41	CARRERA 21 CALLE 45B	BARRIO EL CARMEN
CALLE 30 CARRERA 8	CARRERA 27 CON CIRCUNVALAR	ESTADIO METROPOLITANO
CALLE 45 CARRERA 1	VIA 40 CON CALLE 82	PARQUE ELECTRIFICADORA
CALLE 45 CARRERA 38	CARRERA 38 CALLE 109	PLAZA DE LA PAZ
CALLE 52 CARRERA 55	CARRERA 38 CALLE 30	SAN ISIDRO
CALLE 54 CARRERA 14 (SOLEDAD)	CARRERA 38 CALLE 72	CIRCUNVALAR CON MURILLO
CALLE 58 CARRERA 54	CARRERA 43 CALLE 50	CORDIALIDAD CALLE 98
CALLE 58 CARRERA 55	CARRERA 43 CALLE 60	CORDIALIDAD CON MURILLO
CALLE 63 CARRERA 14 (SOLEDAD)	CARRERA 46 CALLE 34	TEATRO AMIRA
CALLE 72 CARRERA 46	CARRERA 51B CALLE 98	UNIVERSIDAD DEL NORTE
CALLE 84 CARRERA 44	CARRERA 53 CALLE 80	VIA 40 CON CALLE 109 A.
CALLE 85 CARRERA 64	CARRERA 54 CALLE 58	CIRCUNVALAR CON CARRERA 52
CALLE 90 CARRERA 46	CENTRO HISTÓRICO	CALLE 99 CARRERA 53
CALLE 96 CARRERA 59	CIRCUNVALAR CALLE 38	

Tabla 25. Puntos de interceptación para realización de Encuestas OD

Se recolectaron 585 encuestas, la descripción de la muestra se especifica en la siguiente Tabla 27. Se puede notar que se interceptaron en mayor proporción encuestados que manejaban bicicleta por propósito de trabajo, las cuales pertenecen a estratos bajos.

En las zonas de estratos 4, 5 y 6 se interceptaron menos ciclistas por motivo de trabajo, aunque hubiese encuestadores ubicados en estas zonas.

Las encuestas respondidas por usuarios de motivo de deporte pertenecen a usuarios de todos los estratos. Mientras, que usuarios que usan la bicicleta para hacer diligencias son de estratos bajos al igual que usuarios de trabajo (Tabla 13).

Las encuestas OD mostradas en la Figura 31, sirve como muestra de los viajes realizados en la ciudad en los días martes, miércoles y jueves, durante el horario correspondiente entre 6 a.m. – 9 a.m. y 5 p.m. – 7 p.m.

Estrato 1	Cantidad de Usuarios	Estrato 2	Cantidad de Usuarios	Estrato 3	Cantidad de Usuarios
COMPRAS	2	COMPRAS	7	COMPRAS	1
DEPORTE	16	DEPORTE	10	DEPORTE	21
DILIGENCIAS	25	DILIGENCIAS	22	DILIGENCIAS	8
ESTUDIO	3	ESTUDIO	4	ESTUDIO	8
TRABAJO	291	TRABAJO	104	TRABAJO	34
Estrato 4	Cantidad de Usuarios	Estrato 5	Cantidad de Usuarios	Estrato 6	Cantidad de Usuarios
COMPRAS	3	COMPRAS	1	COMPRAS	1
DEPORTE	11	DEPORTE	1	DEPORTE	1
DILIGENCIAS	2	DILIGENCIAS	1	DELIGENCIAS	1
ESTUDIO	6	ESTUDIO	0	ESTUDIO	0
TRABAJO	1	TRABAJO	0	TRABAJO	0

Propósito de viajes	Promedio de edades	Desviación de edades
COMPRAS	39.3	14.34
DEPORTE	35.22	15.6
DILIGENCIAS	39.18	14.87
ESTUDIO	21.7	8.63
TRABAJO	53.8	22.82

Tabla 26. Descripción de muestra de encuesta OD

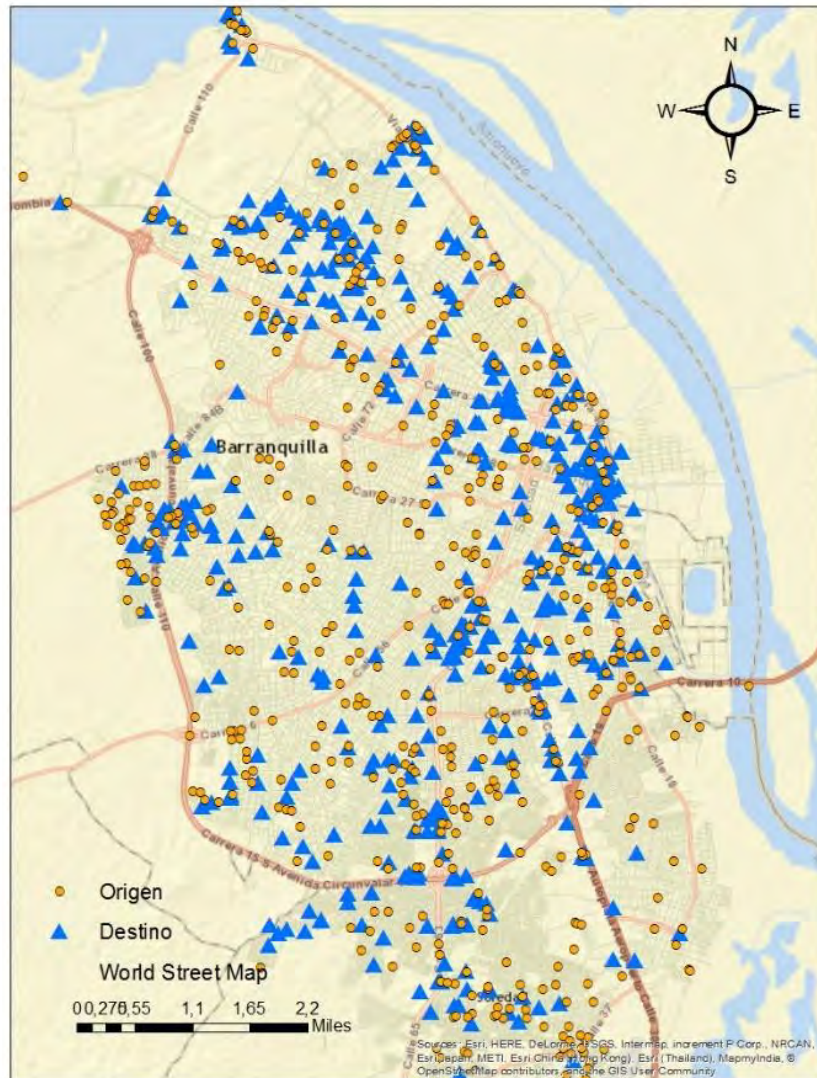


Figura 31. Ubicaciones de las encuestas OD

Esta encuesta OD es usada como semilla para asignar los viajes y estimar una matriz OD. Para expandir los datos de la matriz semilla, se extrae información de los viajes generados y atraídos en distintas zonas de la ciudad del Plan Maestro de movilidad (PMM).

Con base a los datos extraídos del PMM, se realiza el modelo de distribución de viajes Furness, donde la matriz base son las encuestas OD realizadas y los viajes generados y atraídos objetivo son los recopilados en el PMM.

En este caso, se extraen dos matrices según el propósito del viaje en cuestión. Conjuntamente, se realizan aforos, para la calibración de la matriz OD, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 28.

PUNTOS DE AFORO	PUNTOS DE AFORO
CORDIALIDAD CON CALLE 99C	CARRERA 66 CALLE 80
CALLE 79 CARRERA 43	CALLE 81 CARRERA 66
CALLE 79 CARRERA 53	CORDIALIDAD CALLE 94C
CALLE 79 CARRERA 51B	CORDIALIDAD CALLE 75B
CALLE 72 CARRERA 52	CORDIALIDAD CARRERA 9D
CALLE 45 CARRERA 21	CORDIALIDAD CARRERA 13
CIRCUNVALAR CARRERA 38	CORDIALIDAD CARRERA 22
CIRCUNVALAR CARRERA 51B	CARRERA 52 CALLE 75
CALLE 17 CARRERA 12	CORDIALIDAD CARRERA 11
CALLE 30 CIRCUNVALAR	CARRERA 52 CALLE 76
CALLE 30 CARRERA 38	CALLE 70 CARRERA 52
CALLE 45 CIRCUNVALAR	CALLE 80 CARRERA 51B
VIA 40 CARRERA 77	CARRERA 51B CALLE 84
CARRERA 66 CALLE 79	

Tabla 27. Puntos de Aforo de Bicicletas

Estos aforos se asignan a los tramos de la red según la topología de ésta. La red se encuentra en el siguiente mapa (Figura 32), la cual es usada para calcular el modelo de asignación en TRANSCAD. El modelo de asignación usado es el algoritmo TODO o NADA.

El tiempo de viaje es el atributo que se optimiza en el algoritmo de rutas mínimas en TRANSCAD 4.5, calculado mediante la división entre la distancia del arco y la velocidad de éste. En la Tabla 29, se detallan los atributos de la red analizada.

ATRIBUTOS DE LA RED	DESCRIPCIÓN DE LOS ATRIBUTOS
Distancia del arco	Metros de longitud calculado mediante SIG (ARCGIS 10.3)
Categoría del arco	1 si es vías principales, 2 si es secundarias, 3 si se trata de vías colectoras y 4 para vías locales.
Velocidad de flujo libre de viaje	La velocidad depende del tipo de viaje. Para viajes urbanos la velocidad promedio es de 20 km/h y en vías principales la velocidad promedio es de 35km/h (Ministerio de Transporte Colombia, 2016). Por ello, se coloca 10 km/h a vías locales y colectoras dado que es esta la velocidad promedio de viajes urbanos, 20 km/h a vías secundarias y 30 km/h a vías principales.
Tiempo de viaje del arco	Se calcula mediante la división entre kilómetros sobre velocidad, su unidad se aplica en segundos.

Tabla 28. Atributos de la red usada para Asignación Todo o Nada de Bicicletas



Figura 32. Red vial de Barranquilla usada para la Asignación de viajes en TRANSCAD

Se calcula el flujo de viajes en bicicleta mediante el algoritmo de rutas mínimas todo o Nada, que asigna viajes en una sola ruta entre pares OD. En este caso, no se considera congestión.

Para establecer el desempeño del modelo de asignación se calcula el %RMSE (Percent Root Mean Square Error), el cual determina la correspondencia entre los volúmenes modelados y los conteos de tráfico de la situación base. Se expresa matemáticamente en la ecuación 35.

$$\%RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_j (m_j - c_j)^2}{n - 1}}}{\frac{\sum_j c_j}{n}} \quad (35)$$

Donde.

mj: Flujo asignado por el modelo al arco *j*
cj: Conteo de tráfico en el arco *j*
n: Número de arcos con información de conteo de tráfico

- Muy buen ajuste $\%RMSE < 30$
- Ajuste aceptable $30 < \%RMSE < 60$
- Ajuste regular $60 < \%RMSE < 100$
- Mal Ajuste $\%RMSE > 100$

El $\%RMSE$ resultante es 0.48, es decir que el ajuste es aceptable, por lo que el modelo cumple con lo observado con un 48% de error.

Luego de conocer si el modelo presenta un buen ajuste, se analizan los resultados del modelo de Asignación.

En la Figura 33 se observan los resultados del modelo de asignación. Las vías más usadas es la avenida Circunvalar, Cordialidad, Calle 30, Carrera 46, Calle 17, Calle 47, Calle 45 y Vía 40 nombres detallados en la Figura 27, dado que éstas conectan zonas alejadas entre sí, y en la mayoría de los casos, los encuestados son usuarios con viajes largos por motivo de trabajo.

Las vías colectoras y locales más cargadas de viajes son aquellas que se encuentran afuera de Barranquilla, es decir en Soledad, dado que son viajes cortos que se realizan dentro de éste municipio.

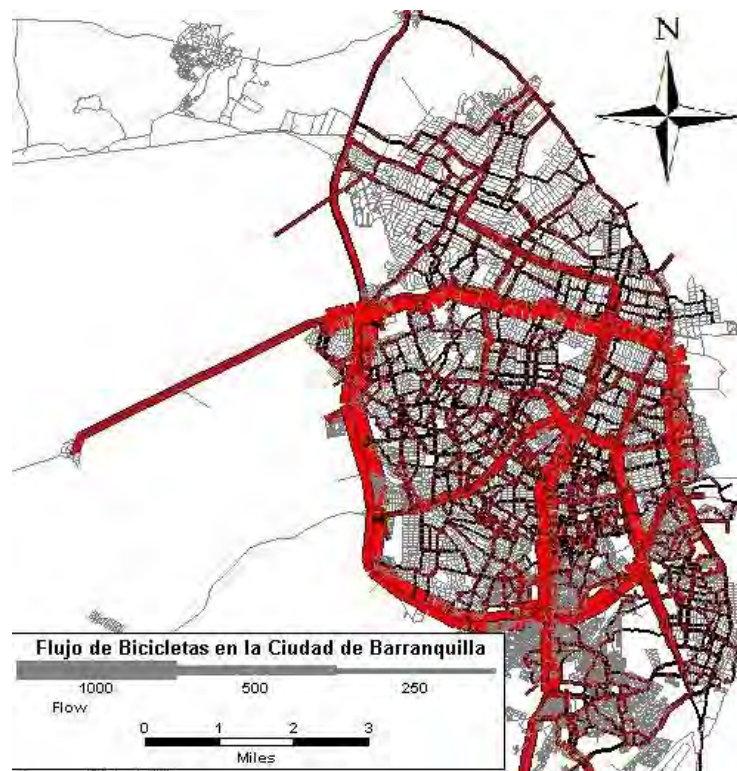


Figura 33. Demanda de bicicletas para trabajo mediante Asignación Todo o Nada

Luego de calcular los viajes mediante el algoritmo Todo Nada, y la matriz OD, se realiza el modelo de demanda directa, usando la matriz de demanda de viajes estimada como variable dependiente. Este modelo se calcula tanto para motivo de trabajo como para deporte y recreación.

Este modelo es vegetativo, por ello se considera la hipótesis que si aumenta algunas variables o se alteran, también se afecta la variable de demanda de viajes en bicicleta. Éste modelo se representa matemáticamente en la ecuación 36.

$$T_{ij} = \theta * X_i^{\beta_1} * Y_j^{\beta_2} * \prod_m T_{ij}^{\beta_3} * S_{ij}^{\beta_4} \quad (36)$$

, donde X es el vector de las variables zonales correspondientes al de origen y Y corresponde a la zona de destino. Las variables $[T_{ij}]$ y $[S_{ij}]$ son las medidas de impedancia entre pares OD, en este caso tiempo de viaje y medida índice de accesibilidad para ciclistas, mientras que el vector β son parámetros de calibración.

A continuación en la Tabla 30, se describen variables independientes del modelo de demanda directa.

Atributo	Descripción	Fuente de datos
Área institucional en la zona de Origen [Ins_i]	Área en hectáreas (Trabajo) y millas cuadradas (Deporte). Tienen como objetivo prestar servicios de soporte, por ejemplo zonas como escuelas privadas, universidades, bancos, entre otros.	Se extrae de un archivo de SIG del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla, 2012
Área institucional en la zona de Destino [Ins_j]		
Área comercial en zona de origen [Com_i]	Área en hectáreas (Trabajo) y millas cuadradas (Deporte), destinadas a usos urbanos que tienen como objetivo facilitar el intercambio de bienes y servicios.	Se extrae de un archivo de SIG del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla, 2012
Área comercial en zona de Destino [Com_j]		
Área residencial en zona de origen [Res_i]	Corresponde al área en hectáreas (Trabajo) y millas cuadradas (Deporte), destinada construcción de viviendas	Se extrae de un archivo de SIG del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla, 2012
Área residencial en zona de Destino [Res_j]		
Área industrial en zona de origen [Inds_i]	Áreas en hectáreas (Trabajo) y millas cuadradas (Deporte), destinadas a la producción de productos industriales.	Se extrae de un archivo de SIG del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla, 2012
Área industrial en zona de Destino [Inds_j]		

Área de actividad central en zona de origen [Ac_i]	Áreas en hectáreas (Trabajo) y millas cuadradas (Deporte), reservadas al empleo, servicios, e intercambios comerciales.	Se extrae de un archivo de SIG del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla, 2012
Área de actividad central en zona de Destino [Ac_j]		
Área de espacio público en la zona de Origen [Esp_i]	Área en hectáreas (Trabajo) y millas cuadradas (Deporte), destinada uso recreativo para la población, a diferencia de la institucional solo es dotaciones públicas, como por ejemplo: Plazas y parques.	Se extrae de un archivo de SIG construido según Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla, 2012
Área de espacio público en la zona de Destino [Esp_j]		
Población en la zona de Origen [POB_i]	Cantidad de personas que residen en cada zona Origen- destino.	Se extrae en la base de Datos de la Encuesta Hogar de Barranquilla realizado en el 2012
Población de la zona de Destino [POB_j]		
Acceso a vías principales en las zonas de Origen [Acc_i]	Distancia en metros entre las zonas origen o destino, y el arco más cercano que pertenece a una vía principal.	Calculado mediante uso de Rutas Mínimas en ARCPMAP.
Acceso a vías principales en las zonas de Destino [Acc_j]		
Tiempo de viaje [T_{ij}]	Minutos de viaje entre pares OD.	Calculado mediante uso de Rutas Mínimas en ARCPMAP.
Índice de accesibilidad para trabajo [S1_{ij}]	Promedio de la medida que representa la percepción de la oferta de viaje en este caso	Suma de la medida de cada arco y se divide sobre el número de arcos que correspondían a la ruta mínima. (ARCPMAP)
Índice de accesibilidad para deporte [S2_{ij}]	movilidad, seguridad ante robos y seguridad ante accidentes.	
Estratos socioeconómicos en el origen [E_j]	Estratos bajos [Eb_j]: es 1 para zonas de estrato 1 y 2; 0 en otro caso. Estratos bajos [Ea_j]: es 1, para zonas de estrato 5 y 6, 0 en otro caso.	Se extrae de un archivo de SIG del Plan Maestro de Movilidad de Barranquilla, 2012

Tabla 29. Variables independientes de modelo de Demanda directa

Para la calibración del modelo se linealiza la función, aplicando logaritmo natural a la ecuación 36, que representa el modelo de demanda directa.

La función resultante se observa en la ecuación 37. Seguidamente, se aplica regresión lineal para calcular los coeficientes de las variables independientes que explican la demanda de viajes de bicicletas, tanto para viajes por propósito de trabajo como para deporte/recreación.

$$\ln(T_{ij}) = \ln(\theta) + \beta_1 \ln(X_i) + \beta_2 \ln(Y_i) + \beta_3 \ln(T_{ij}) + \beta_4 \ln(S_{ij}) \quad (37)$$

Los resultados del modelo de demanda directa por propósito de deporte son presentados en la Tabla 31. Se observa que los viajes atraídos y generados aumentan, si se coloca ciclorruta en un corredor, debido a que el promedio de la medida de accesibilidad es positivo y significativo en este modelo. Por lo anterior, se puede afirmar que entre mejor infraestructura vial, seguridad vial y seguridad ante robos, los viajes entre orígenes y destinos aumentan.

Además, las personas por motivo de deporte prefieren manejar largas distancias a zonas con mayor área de espacio público e instituciones. Por lo anterior, los viajes en bicicleta aumentan si en la zona de destino se presenta una plaza, un parque, o instituciones privadas.

Finalmente, las variables poblacionales inciden en la demanda de viajes de manera significativa, por lo que presenta el mayor valor del estadístico t. Esto indica que entre más personas residan en alguna zona de origen o destino los viajes aumentan.

Nombre	Coeficiente	Test t
Intercepto: $[\ln(\theta)]$	-8.463	-22.29
Índice de accesibilidad para deporte: $[S1_{ij}]$	0.735	2.38
Tiempo de viaje $[T_{ij}]$	0.012	4.66
Área institucional en la zona de origen: $[\ln(Ins_i)]$	0.076	7.33
Área institucional en la zona de destino: $[\ln(Ins_j)]$	0.069	7.52
Población en el origen: $[\ln(POB_i)]$	0.428	15.18
Población en el destino: $[\ln(POB_j)]$	0.209	8.82
Área de espacio público en el destino y origen: $[\ln(Esp_j/Esp_i)]$	0.024	3.50
Área comercial en la zona de origen: $[\ln(Com_i)]$	0.033	4.05
Acceso a vías principales en las zonas de Origen: $[\ln(Acc_i)]$	-0.122	-5.45

Tabla 30. Resultado Modelo de viaje por propósito de recreación y deporte.

El R cuadrado ajustado del modelo es 0.07

Los resultados del modelo de demanda directa por propósito de trabajo son presentados en la Tabla 32. Se puede observar que los viajes atraídos y generados aumentan, si se coloca ciclorruta en un corredor, el cual comience o finalice en zonas de estratos 1,2 o 5,6, debido al coeficiente positivo y significativo del índice de accesibilidad.

La anterior afirmación corrobora, el resultado presentado en Plan Maestro de Movilidad, en el cual establece que los viajes por trabajo se realizan por la población de estratos bajos para trasladarse del Norte al Sur de la ciudad, es decir de estratos más bajos, a estratos más altos.

Además, las personas por motivo de deporte prefieren manejar a zonas cercanas entre sí, dado que el coeficiente del tiempo de viaje es negativo. A su vez, los viajes de bicicletas aumentan, si en la zona de destino u origen del viaje se presentan industrias y o zonas con área de actividad central, por ejemplo el centro histórico.

El coeficiente de la variable de acceso a vías principales es positivo, por lo cual las zonas más alejadas de este tipo de vías presentan más viajes de bicicletas.

Las variables poblacionales inciden en la demanda de viajes de manera significativa al igual que los viajes por motivo de deporte, por lo que presenta el mayor valor del estadístico t.

Nombre	Coeficiente	Test t
Intercepto: $[\ln(\theta)]$	-11.66	-44.905
Tiempo de viaje $[T_{ij}]$	-0.087	-36.110
Índice de accesibilidad para ciclistas en zonas de estratos bajos: $[(S1_{ij}) * [Eb_i]$	1.067	14.508
Índice de accesibilidad para ciclistas en zonas de estratos altos: $[(S1_{ij}) * [Ea_i]$	1.114	6.884
Área industrial en el origen: $[\ln(Ind_i)]$	0.087	5.238
Área industrial en el destino: $[\ln(Ind_j)]$	0.082	4.739
Población en el origen: $[\ln(POB_i)]$	0.666	31.52
Población en el destino: $[\ln(POB_j)]$	0.474	25.621
Acceso a vías principales en las zonas de Origen: $[\ln(Acc_i)]$	0.195	9.47
Área de actividad central en la zona de origen: $[\ln(Ac_i)]$	0.021	0.922

Tabla 31. Resultado Modelo de viaje por propósito de trabajo.

El R cuadrado ajustado del modelo es 0.225.

Se aplica el modelo al simular la presencia de ciclorruta en la red, para ello se crean distintos corredores. La división de éstos se realiza por fases, la primera fase de priorización son las vías principales. Como se puede observar en la Figura 33, son aquellas con mayor demanda de viajes. La segunda fase de corredores potenciales a priorizar, son las vías que ofrecen conexión entre las vías principales y las zonas de la ciudad.

Para conocer el orden de priorización se aplica el modelo de la siguiente manera:

1. Se escoge un corredor de la red, en el cual se simula la colocación de ciclorruta, es decir, se mejora el índice de accesibilidad para ciclistas, tanto para deporte como para trabajo, colocando un valor de 1, en la variable de presencia de ciclorruta y ancho del carril. El tipo de ciclorruta escogida es aquella que tienen barreras físicas y un ancho de 1.4 metros.
2. Luego se seleccionan las rutas mínimas entre pares OD que son afectadas por el corredor, donde la hipótesis es que todo el flujo de bicicletas entre pares OD de dicha ruta transitan por ella.
3. Se calcula nuevamente la demanda de bicicletas, donde el modelo es presentado en la Tabla 31 y Tabla 32. Este modelo de manera geográfica, se puede ilustrar en la Figura 35, en la cual se establece el flujo de viajes en cada corredor según el modelo de demanda directa de viajes en bicicleta.

Este procedimiento se realiza para todos los corredores propuestos de la red y supone que los corredores que primero son priorizados son aquellos que conecten zonas con alto flujo de ciclistas. Para la simulación del procedimiento simulación se utiliza un código en Python anexado. El código es analizado en ARCGIS y tarda 3 minutos por cada corredor.

Los resultados del modelo de demanda directa indican que las vías donde deben colocar ciclorrutas primeramente son aquellas vías principales correspondientes a la Fase 1, las cuales conectan el Sur con el Norte de la ciudad, como son la Calle 45, Calle 84, Calle 72, Calle 30, Avenida Circunvalar como se observa en la Figura 34.

Para la Fase 2, las ciclorrutas que se encuentran al sur occidente de la ciudad son los primeros en ser priorizados, dado que son los tramos con mayor demanda de bicicletas, como se ilustra en la Figura 35. Éstas sirven para conectar las vías principales con las zonas de la ciudad.

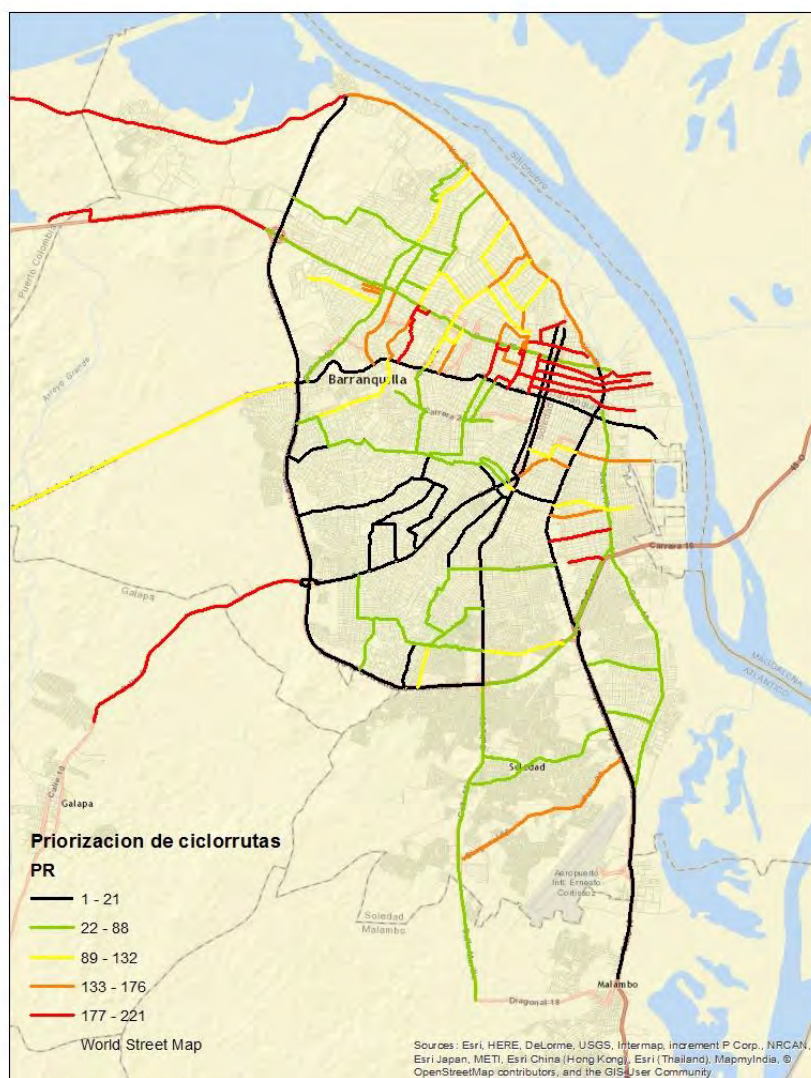


Figura 34. Priorización de ciclorrutas en Barranquilla

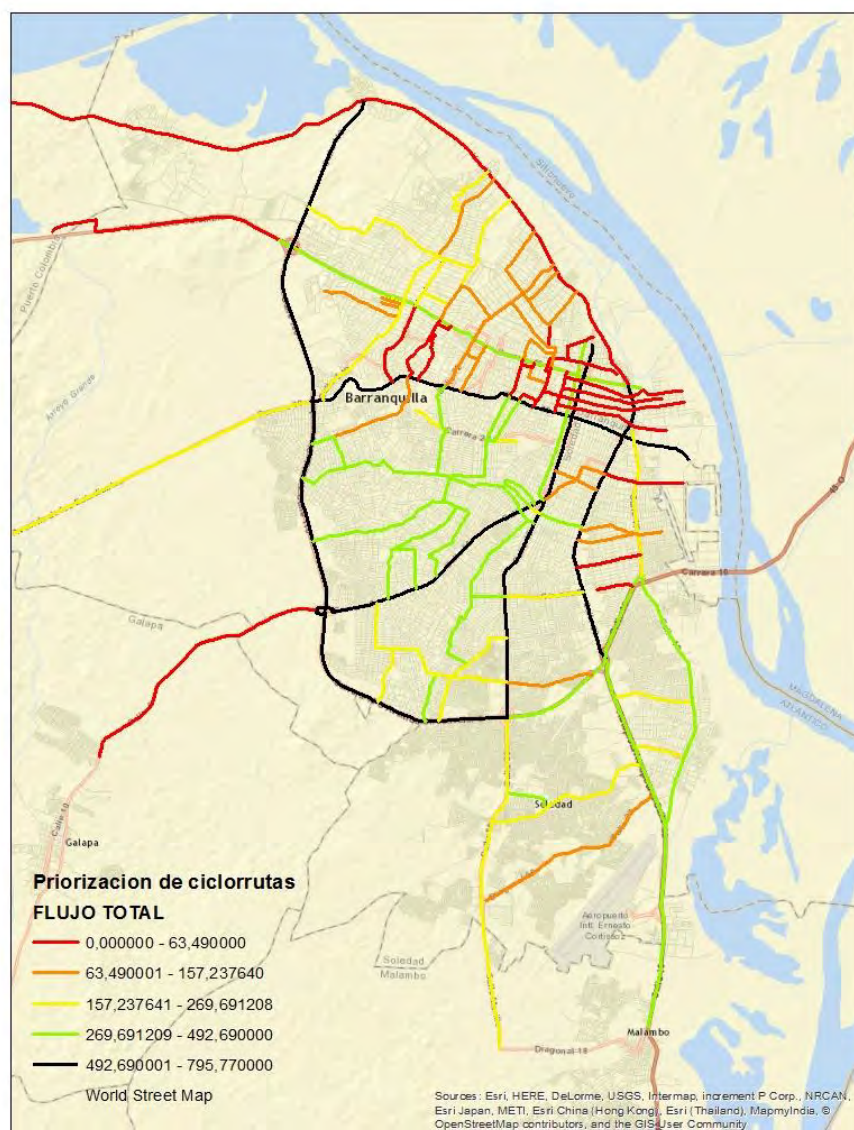


Figura 35. Flujo de bicicletas en los corredores propuestos

5. Conclusiones y Futuras Investigaciones

En esta investigación se realiza una metodología para creación de medidas de accesibilidad, donde el objetivo es tomar decisiones sobre inversión en infraestructura vial. En este caso, se considera la percepción de las personas, debido a que se construyen las medidas de accesibilidad mediante encuestas basadas en explosión del ranking a usuarios frecuentes y poco frecuentes de los modos de transporte no motorizado. Estos índices son modelados mediante modelos de elección discreta, en este caso mediante modelos MNL.

La contribución de este proyecto según la literatura es la construcción de un índice por tipo de ciclista, es decir que en este caso segmentan el índice según las variables socioeconómicas y el propósito del viaje. Además, se consideran gran cantidad de atributos claves que afectan el grado de comodidad, seguridad y movilidad al caminar o manejar bicicleta en una vía.

El índice de accesibilidad puede ser una variable que prediga la demanda de viajes, por ello al aplicar el caso de estudio en la ciudad de Barranquilla, concerniente a la construcción de ciclorrutas en la ciudad, se aplica un modelo de demanda directa de viajes.

Se observa en el resultado del modelo de demanda directa que el aumento del promedio de la medida índice de accesibilidad para ciclistas, aumenta la cantidad de viajes entre zonas de la ciudad.

Los resultados del índice de accesibilidad establece que el valor más alto es 0.695 y el de bicicletas es 0.7, es decir que ninguna vía cumple con el 100% de los requisitos del índice.

En el caso de peatones la seguridad vial y ante robos son los aspectos más importantes para ellos al momento de caminar en la ciudad. En caso de los ciclistas, depende del tipo de usuario, es decir depende del propósito de viaje.

En el caso de la medida de accesibilidad para ciclistas se divide en propósito de deporte/recreación y propósito de trabajo. Los viajes por motivo de deporte, la variable más importante es presencia de ciclo-infraestructura, mientras que para motivo de trabajo, es el estado de infraestructura vial, dado que los ciclistas que realizan viajes por este motivo usan más frecuentemente la infraestructura vial.

Las vías con más demanda de viajes de bicicleta son las vías principales, aun así los valores más bajos del índice de accesibilidad para bicicletas son este tipo de vías. La razón es que estos tramos conectan todas las zonas de la ciudad y los viajes realizados en la ciudad mediante bicicletas como se puede observar en la Tabla 25, son realizados por la población de estratos bajos para acceder a sus trabajos en lugares alejados.

En futuras investigaciones se propone realizar una medidas de accesibilidad no lineales, en la que se permite interacción entre variables. Para ello, se debe realizar otro tipo de modelo que considere la correlación entre los atributos que inciden en el índice.

Las medidas peatonales pueden ser aplicadas en toda la ciudad, y tomar decisiones para mejorar la infraestructura de transporte. Por ejemplo, proponer mejoras en las condiciones del andén, recuperación del espacio público, ampliar los andenes, construcción cebras peatonales, colocar árboles en los andenes o realizar limpiezas en el andén, considerando una restricción presupuestaria para realizar dichas inversiones.

Asimismo, se podría realizar un modelo de peatonalización usando esta medida para maximizar la percepción peatonal, aplicando la demanda de transporte público y privado en el modelo.

Para priorizar inversiones en ciclorruta, se puede considerar un modelo de elección de ruta, donde no solo se consideren modelos de generación-atracción-distribución, sino añadir modelos de asignación de viajes, y así la demanda de viajes por arcos cambie según alguna alteración de los factores que afectan la medida de accesibilidad.

La validación del índice es importante para establecer una escala de valoración que permita conocer el nivel de calidad del índice de accesibilidad de transporte no motorizado, y establecer hasta qué punto el índice de accesibilidad es considerado aceptable, para ello se propone la aplicación de encuesta a expertos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdul Ghani, N., Shimizu, T., & Mokhtar, S. (2015). Assessment of Pedestrian Facilities in Malacca World Heritage Site, Malaysia using P-Index Method. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 11(0), 1535-1554.
- ADA. (1991). Americans with disabilities act (ADA) accessibility guidelines for buildings and facilities. *Federal Register*, 56, 173.
- Alfonzo, M. A. (2005). To walk or not to walk? The hierarchy of walking needs. *Environment and Behavior*, 37(6), 808-836.
- Allen-Munley, C., Daniel, J., & Dhar, S. (2004). Urban bicycle route safety rating logistic model. *Transportation Research Record*, 1878, 107-115.
- Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M., & Shah, M. Z. (2013a). Disabled Pedestrian Level of Service Method for Evaluating and Promoting Inclusive Walking Facilities on Urban Streets. *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 139(2), 181-192. doi:10.1061/(asce)te.1943-5436.0000492
- Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M., & Shah, M. Z. (2013b). Non-motorised Level of Service: Addressing Challenges in Pedestrian and Bicycle Level of Service. *Transport Reviews*, 33(2), 166-194. doi:10.1080/01441647.2013.775613
- Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M., & Shah, M. Z. (2015). A Bicycle Safety Index for Evaluating Urban Street Facilities. *Traffic Injury Prevention*, 16(3), 283-288. doi:10.1080/15389588.2014.936010
- Asadi-Shekari, Z., Moeinaddini, M., & Shah, M. Z. (2015). Pedestrian safety index for evaluating street facilities in urban areas. *Safety science*, 74, 1-14.
- Badland, H., White, M., MacAulay, G., Eagleson, S., Mavoa, S., Pettit, C., & Giles-Corti, B. (2013). Using simple agent-based modeling to inform and enhance neighborhood walkability. *International Journal of Health Geographics*, 12, 10. doi:10.1186/1476-072x-12-58
- Beiler, M. R. O., & Phillips, B. (2016). Prioritizing Pedestrian Corridors Using Walkability Performance Metrics and Decision Analysis. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), 12. doi:10.1061/(asce)up.1943-5444.0000290
- Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., & Weston, L. (2000). Urban accessibility index: literature review. *Center of Transportation Research, University of Texas at Austin, Springfield*.
- Blecic, I., Cecchini, A., Congiu, T., Fancello, G., & Trunfio, G. A. (2015). Evaluating walkability: a capability-wise planning and design support system. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(8), 1350-1374. doi:10.1080/13658816.2015.1026824
- Botma, H. (1995). Method to determine level of service for bicycle paths and pedestrian-bicycle paths. *Transportation Research Record*(1502), 38-44.
- Bradshaw, C. (1993, 1993). *Creating—and Using—a Rating System for Neighborhood Walkability: Towards an Agenda for “Local Heroes.”*
- Brewster, M., Hurtado, D., Olson, S., & Yen, J. (2009). Walkscore. com: A new methodology to explore associations between neighborhood resources, race, and health. APHA Poster Presentation Retrieved Electronically From: https://apha.confex.com/recording/apha/137am/pdf/free/4db77adf5df9fff0d3caf5cafe28f496/paper205082_1.pdf.

- Broach, J., Dill, J., & Gliebe, J. (2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1730-1740.
- Callister, D., & Lowry, M. (2013). Tools and Strategies for Wide-Scale Bicycle Level-of-Service Analysis. *Journal of Urban Planning and Development*, 139(4), 250-257. doi:10.1061/(asce)up.1943-5444.0000159
- Carr, L. J., Dunsiger, S., & Marcus, B. H. (2010). VALIDITY OF WALK SCORE T FOR ESTIMATING NEIGHBORHOOD WALKABILITY. *Annals of Behavioral Medicine*, 39, 72-72.
- Christopoulou, P., & Pitsiava-Latinopoulou, M. (2012). Development of a model for the estimation of pedestrian level of service in Greek urban areas. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 1691-1701.
- Curtis, C., & Scheurer, J. (2010). Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. *Progress in Planning*, 74(2), 53-106.
- Dandan, T. A. N., Wei, W., Jian, L. U., & Yang, B. (2007). Research on methods of assessing pedestrian level of service for sidewalk. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 7(5), 74-79.
- Daniel, B. D., Nor, S. N. M., Rohani, M. M., Prasetijo, J., Aman, M. Y., & Ambak, K. (2016, 2016). *Pedestrian Footpath Level of Service (FOOT-LOS) Model for Johor Bahru*.
- Davis, W. J. (1987). *Bicycle safety evaluation*.
- de Dios Ortuzar, J., & Willumsen, L. G. (1991). Modelling Transport. In: JSTOR.
- Dixon, L. (1996). Bicycle and pedestrian level-of-service performance measures and standards for congestion management systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1538), 1-9.
- Dobesova, Z., & Krivka, T. (2012). *Walkability index in the urban planning: A case study in Olomouc city*: INTECH Open Access Publisher.
- Dowling, R., Flannery, A., Landis, B., Petritsch, T., Roupail, N., & Ryus, P. (2008). Multimodal Level of Service for Urban Streets. *Transportation Research Record*(2071), 1-7. doi:10.3141/2071-01
- Duthie, J., & Unnikrishnan, A. (2014). Optimization Framework for Bicycle Network Design. *Journal of Transportation Engineering*, 140(7), 8. doi:10.1061/(asce)te.1943-5436.0000690
- Elias, A. (2011). Automobile-Oriented or Complete Street? Pedestrian and Bicycle Level of Service in the New Multimodal Paradigm. *Transportation Research Record*(2257), 80-86. doi:10.3141/2257-09
- Ellis, G., Hunter, R., Tully, M. A., Donnelly, M., Kelleher, L., & Kee, F. (2016). Connectivity and physical activity: using footpath networks to measure the walkability of built environments. *Environment and Planning B-Planning & Design*, 43(1), 130-151. doi:10.1177/0265813515610672
- Emery, J., Crump, C., & Bors, P. (2003). Reliability and validity of two instruments designed to assess the walking and bicycling suitability of sidewalks and roads. *American Journal of Health Promotion*, 18(1), 38-46.
- Epperson, B. (1994). On the Development of a Roadway Level of Service Standard For Bicycles: A History and Discussion, Miami Urbanized Area Metropolitan Planning Organization. In: Florida.
- Frackelton, A. (2013). Pedestrian transportation project prioritization incorporating app-collected sidewalk data.
- Frackelton, A., Grossman, A., Palinginis, E., Castrillon, F., Elango, V., & Guensler, R. (2013). Measuring walkability: Development of an automated sidewalk quality assessment tool. *Suburban Sustainability*, 1(1), 4.

- Frank, L. D., Sallis, J. F., Conway, T. L., Chapman, J. E., Saelens, B. E., & Bachman, W. (2006). Many pathways from land use to health - Associations between neighborhood walkability and active transportation, body mass index, and air quality. *Journal of the American Planning Association*, 72(1), 75-87. doi:10.1080/01944360608976725
- Frank, L. D., Schmid, T. L., Sallis, J. F., Chapman, J., & Saelens, B. E. (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form - Findings from SMARTRAQ. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(2), 117-125. doi:10.1016/j.amepre.2004.11.001
- Frank, L. D., Schmid, T. L., Sallis, J. F., Chapman, J., & Saelens, B. E. (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: findings from SMARTRAQ. *American journal of preventive medicine*, 117-125.
- Freeman, L., Neckerman, K., Schwartz-Soicher, O., Quinn, J., Richards, C., Bader, M. D. M., . . . Rundle, A. G. (2013). Neighborhood Walkability and Active Travel (Walking and Cycling) in New York City. *Journal of Urban Health-Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 90(4), 575-585. doi:10.1007/s11524-012-9758-7
- Gallin, N. (2001). Quantifying pedestrian friendliness--guidelines for assessing pedestrian level of service. *Road & Transport Research*, 10(1), 47.
- Garcia, M. R. (Producer). (2002, Enero). virtual unal. www.virtual.unal.edu.co. Retrieved from http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion3/capitulo01/03_01_01.htm
- Gaviria, A., & Vélez, C. E. (2001). Who bears the burden of crime in Colombia? Available at SSRN 256746.
- Geelong Planning, C. (1978). Geelong Bikeplan. Geelong, Australia.
- Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport geography*, 12(2), 127-140.
- Glazier, R. H., Weyman, J. T., Creatore, M. I., Gozdyra, P., Moineddin, R., Matheson, F. I., & Booth, G. L. (2008). Development and validation of an urban walkability index for Toronto, Canada. *Canadian Journal of Diabetes*, 32(4).
- Gori, S., Nigro, M., & Petrelli, M. (2014). Walkability Indicators for Pedestrian-Friendly Design. *Transportation Research Record*(2464), 38-45. doi:10.3141/2464-05
- Groot, R. d. (2007). *Design manual for bicycle traffic*.
- Guthrie, N., Davies, D. G., & Gardner, G. (2001). CYCLIST'S ASSESSMENTS OF ROAD AND TRAFFIC CONDITIONS: THE DEVELOPMENT OF A CYCLABILITY INDEX. *TRL REPORT 490*.
- Guttenplan, M., Davis, B., Steiner, R., Miller, D., & Trb. (2003). Planning-level areawide multimodal level-of-service analysis - Performance measures for congestion management. *Transportation Planning and Analysis 2003: Planning and Administration*(1858), 61-68.
- Guttenplan, M., Landis, B. W., Crider, L., McLeod, D. S., & Trb. (2001). Multimodal level-of-service analysis at planning level. *Traffic Flow Theory and Highway Capacity 2001: Highway Operations, Capacity, and Traffic Control*(1776), 151-158.
- Ha, E., Joo, Y., & Jun, C. (2011). An empirical study on sustainable walkability indices for transit-oriented development by using the analytic network process approach. *International Journal of Urban Sciences*, 15(2), 137-146.
- Hall, R. A. (2010, 2010). *HPE's Walkability Index—Quantifying the Pedestrian Experience*.
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of planners*, 25(2), 73-76.
- Hanson, S., & Hanson, P. (1977). Evaluating the impact of weather on bicycle use. *Transportation Research Record*, 629, 43-48.

- Harkey, D., Reinfurt, D., & Knuiman, M. (1998). Development of the bicycle compatibility index. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1636), 13-20.
- Hasan, T., Siddique, A., Hadiuzzaman, M., & Musabbir, S. R. (2015). Determining the Most Suitable Pedestrian Level of Service Method for Dhaka City, Bangladesh, Through a Synthesis of Measurements. *Transportation Research Record*(2519), 104-115. doi:10.3141/2519-12
- Hawkins, B. A. (2014). Assessment of Knoxville, TN's Urban Landscape Qualities Related to Bikeability Utilizing Cognitive Maps and Visual Assessments.
- HCM. (2000). HCM 2000. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Heraldo. (2015). Puntos criticos en la ciudad de Barranquilla. In. <http://www.elheraldo.co/judicial/puntos-criticos-de-la-seguridad-en-barranquilla-200956>.
- Hochmair, H. H. (2009, 2009). GIS-based identification of effective bicycle level of service improvement in street networks.
- Hood, J., Sall, E., & Charlton, B. (2011). A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. *Transportation Letters-the International Journal of Transportation Research*, 3(1), 63-75. doi:10.3328/tl.2011.03.01.63-75
- Hsu, T. P., & Lin, Y. T. (2011). A model for planning a bicycle network with multi-criteria suitability evaluation using GIS. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 148.
- Iacono, M., Krizek, K. J., & El-Geneidy, A. (2010). Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution. *Journal of Transport Geography*, 18(1), 133-140. doi:10.1016/j.jtrangeo.2009.02.002
- Iseki, H., & Tingstrom, M. (2013). A GIS BIKEABILITY/BIKESHED ANALYSIS INCORPORATING TOPOGRAPHY, STREET NETWORK AND STREET CONNECTIVITY.
- Jaskiewicz, F. (2000). Pedestrian level of service based on trip quality. *Transportation Research Circular, TRB*.
- Jensen, S. U. (2007). Pedestrian and bicyclist level of service on roadway segments. *Transportation Research Record*(2031), 43-51. doi:10.3141/2031-06
- Jones, M., Birk, M., Miller, P., & J., A. (2000). Bicycle Demand and Benefit Model Documentation. In.
- Jorge Avila Pareja. (2014). FONDO DE SEGURIDAD Y CONVIVENCIA CIUDADANA. Informe de Gestión. In. http://www.barranquilla.gov.co/fondodeseguridad/component/docman/doc_view/6-informe-de-gestion-2013-fscc.
- Kang, K., & Lee, K. (2012). Development of a bicycle level of service model from the user's perspective. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(6), 1032-1039.
- Kelly, C. E., Tight, M. R., Hodgson, F. C., & Page, M. W. (2011). A comparison of three methods for assessing the walkability of the pedestrian environment. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1500-1508. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.08.001
- Khisty, C. J. (1994). *Evaluation of pedestrian facilities: beyond the level-of-service concept* (0309055199). Retrieved from
- Kim, S., Choi, J., & Kim, S. (2013). Roadside walking environments and major factors affecting pedestrian level of service. *International Journal of Urban Sciences*, 17(3), 304-315.
- Kim, T.-H., Park, J.-t., Lim, J.-h., & Joo, Y. (2009). A DEVELOPMENT OF INTEGRATED EVALUATION CRITERIA FOR QUALITY OF SERVICE ON PEDESTRIAN NETWORKS BY USING MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS.
- Krambeck, H. V. (2006). The global walkability index.

- Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, 5(04), 451.
- Kubat, A. S., Ozer, O., & Ozbil, A. (2013). DEFINING A STRATEGICAL FRAMEWORK FOR URBAN PEDESTRIANIZATION PROJECTS.
- Landis, B., Vattikuti, V., & Brannick, M. (1997). Real-time human perceptions: toward a bicycle level of service. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1578), 119-126.
- Landis, B. W. (1994). *Bicycle interaction hazard score: a theoretical model* (0309055199). Retrieved from
- Landis, B. W., Vattikuti, V. R., Ottenberg, R. M., McLeod, D. S., Guttenplan, M., & Trb. (2001). Modeling the roadside walking environment - Pedestrian level of service. In *2001 Trb Distinguished Lecture, Pt 1 - Bicycle and Pedestrian Research, Pt 2: Safety and Human Performance* (pp. 82-88). Washington: Transportation Research Board Natl Research Council.
- Larsen, J., Patterson, Z., & El-Geneidy, A. (2013). Build it. But where? The use of geographic information systems in identifying locations for new cycling infrastructure. *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(4), 299-317.
- Lee, S., Lee, S., Son, H., & Joo, Y. (2013). A new approach for the evaluation of the walking environment. *International journal of sustainable transportation*, 7(3), 238-260.
- Lerman, Y., Rofè, Y., & Omer, I. (2014). Using space syntax to model pedestrian movement in urban transportation planning. *Geographical Analysis*, 46(4), 392-410.
- Li, Z., Wang, W., Shan, X., Jin, J., Lu, J., & Yang, C. (2010, 2010). *Analysis of bicycle passing events for LOS evaluation on physically separated bicycle roadways in China*.
- Loo, B. P. Y., & Lam, W. W. Y. (2012). Geographic accessibility around health care facilities for elderly residents in Hong Kong: a microscale walkability assessment. *Environment and Planning B-Planning & Design*, 39(4), 629-646. doi:10.1068/b36146
- Lowry, M., Dixon, M., & Kingsbury, K. (2011). WHAT MAKES A "COMPLETE STREET" COMPLETE? *Transportation Systems for Livable Communities*, 114.
- Lowry, M. B., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). Assessment of Communitywide Bikeability with Bicycle Level of Service. *Transportation Research Record*(2314), 41-48. doi:10.3141/2314-06
- Lowry, M. B., Furth, P., & Hadden-Loh, T. (2016). Prioritizing new bicycle facilities to improve low-stress network connectivity. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 86, 124-140. doi:10.1016/j.tra.2016.02.003
- Luce, R. D., & Suppes, P. (1965). *Preference, utility, and subjective probability*: Wiley.
- Manaugh, K., Miranda-Moreno, L. F., & El-Geneidy, A. M. (2010). The effect of neighbourhood characteristics, accessibility, home-work location, and demographics on commuting distances. *Transportation*, 37(4), 627-646.
- Mantri, A. (2008). A GIS based approach to measure walkability of a neighborhood.
- Martín, J. C., & Reggiani, A. (2007). Recent methodological developments to measure spatial interaction: synthetic accessibility indices applied to high-speed train investments. *Transport reviews*, 27(5), 551-571.
- Matley, T., Goldman, L., & Fineman, B. (2000). Pedestrian travel potential in Northern New Jersey: A metropolitan Planning organization's approach to identifying investment priorities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1705), 1-8.

- McDaniel, S., Lowry, M., & Dixon, M. (2014). Using Origin-Destination Centrality to Estimate Directional Bicycle Volumes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2430), 12-19.
- McNeil, N. (2011). Bikeability and the 20-min Neighborhood How Infrastructure and Destinations Influence Bicycle Accessibility. *Transportation Research Record*(2247), 53-63. doi:10.3141/2247-07
- Mehta, V. (2008). Walkable streets: pedestrian behavior, perceptions and attitudes. *Journal of Urbanism*, 1(3), 217-245.
- Mekuria, M. C., Furth, P. G., & Nixon, H. (2012). Low-stress bicycling and network connectivity.
- Ministerio de Transporte Colombia. (2016). Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas. In.
- Moudon, A. V., Lee, C., Cheadle, A. D., Garvin, C., Johnson, D., Schmid, T. L., . . . Lin, L. (2006). Operational definitions of walkable neighborhood: theoretical and empirical insights. *Journal of Physical Activity & Health*, 3, S99.
- Moura, F., Cambra, P., & Gonçalves, A. B. (2017). Measuring walkability for distinct pedestrian groups with a participatory assessment method: A case study in Lisbon. *Landscape and Urban Planning*, 157, 282-296.
- Munro, C. (2015, 2015). *Quantifying level of service for bicycle riders*.
- Muraleetharan, T., Adachi, T., Hagiwara, T., & Kagaya, S. (2004, 2004). *Method to determine overall level-of-service of pedestrians on sidewalks based on total utility value*.
- Muraleetharan, T., & Hagiwara, T. (2007). Overall level of service of urban walking environment and its influence on pedestrian route choice behavior: analysis of pedestrian travel in Sapporo, Japan. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Nankervis, M. (1999). The effect of weather and climate on bicycle commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(6), 417-431.
- Niemeier, D. A. (1997). Accessibility: an evaluation using consumer welfare. *Transportation*, 24(4), 377-396.
- Park, S. (2008). *Defining, measuring, and evaluating path walkability, and testing its impacts on transit users' mode choice and walking distance to the station*: ProQuest.
- Park, S., Choi, K., & Lee, J. S. (2015). To Walk or Notto Walk: Testing the Effect of Path Walkability on Transit Users' Access Mode Choices to the Station. *International Journal of Sustainable Transportation*, 9(8), 529-541. doi:10.1080/15568318.2013.825036
- Park, S., Deakin, E., & Lee, J. S. (2014). Perception-Based Walkability Index to Test Impact of Micro level Walkability on Sustainable Mode Choice Decisions. *Transportation Research Record*(2464), 126-134. doi:10.3141/2464-16
- Parkin, J., Wardman, M., & Page, M. (2007). Models of perceived cycling risk and route acceptability. *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 364-371.
- Parks, J. R., & Schofer, J. L. (2006). Characterizing neighborhood pedestrian environments with secondary data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(4), 250-263.
- Peiravian, F., Derrible, S., & Ijaz, F. (2014). Development and application of the Pedestrian Environment Index (PEI). *Journal of Transport Geography*, 39, 73-84.
- Petrtsch, T. A., Landis, B. W., Huang, H. F., McLeod, P. S., Lamb, D., Farah, W., & Guttenplan, M. (2007). Bicycle level of service for arterials. *Transportation Research Record*(2031), 34-42. doi:10.3141/2031-05
- PLANEACION, S. D. D., & DISTRITO DE BARRANQUILLA. (2014). ANEXO No 4: MANUAL DE ESPACIO PÚBLICO.

- Páez, A., Mercado, R. G., Farber, S., Morency, C., & Roorda, M. (2010). Relative accessibility deprivation indicators for urban settings: definitions and application to food deserts in Montreal. *Urban Studies*.
- Recker, W. W., Chen, C., & McNally, M. G. (2001). Measuring the impact of efficient household travel decisions on potential travel time savings and accessibility gains. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(4), 339-369.
- Reyer, M., Fina, S., Siedentop, S., & Schlicht, W. (2014). Walkability is Only Part of the Story: Walking for Transportation in Stuttgart, Germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(6), 5849-5865. doi:10.3390/ijerph110605849
- Rodríguez*, D. A., & Targa, F. (2004). Value of accessibility to Bogotá's bus rapid transit system. *Transport Reviews*, 24(5), 587-610.
- Rose, G., Ahmed, F., Figliozzi, M., & Jakob, C. (2011, 2011). *Quantifying and comparing effects of weather on bicycle demand in Melbourne, Australia, and Portland, Oregon*.
- Rybarczyk, G., & Wu, C. (2010). Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis. *Applied Geography*, 30(2), 282-293.
- Salze, P., Banos, A., Oppert, J.-M., Charreire, H., Casey, R., Simon, C., . . . Weber, C. (2011). Estimating spatial accessibility to facilities on the regional scale: an extended commuting-based interaction potential model. *International journal of health geographics*, 10(1), 1.
- San Francisco Department of Public Health. (2009). Bicycle Environmental Quality Index. In.
- Sanz, P. R., Dorado, J. J., Pena, J. M. S., & Mezcuá, B. R. (2008). Subtitulado Cerrado para la Accesibilidad de Personas con Discapacidad Auditiva en Entornos Educativos Closed Captioning for Accessibility of Hard of Hearing People in Educational Environments. *Procesamiento del lenguaje Natural*(41), 305-306.
- Sayyadi, G., & Awasthi, A. (2013). AHP-Based Approach for Location Planning of Pedestrian Zones: Application in Montreal, Canada. *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 139(2), 239-246. doi:10.1061/(asce)te.1943-5436.0000493
- Scheurer, J., & Curtis, C. (2007). Accessibility measures: Overview and practical applications. *Department of Urban and Regional Planning, Curtin University*, 52.
- Sharma, V., Al-Hussein, M., Safouhi, H., & Boufergubene, A. (2008). Municipal Infrastructure Asset Levels of Service Assessment for Investment Decisions Using Analytic Hierarchy Process. *Journal of Infrastructure Systems*, 14(3), 193-200. doi:10.1061/(asce)1076-0342(2008)14:3(193)
- Sorton, A., & Walsh, T. (1994). Bicycle stress level as a tool to evaluate urban and suburban bicycle compatibility. *Transportation Research Record*, 17-17.
- Swords, A., Goldman, L., Feldman, W., Ehrlich, T., & Bird Jr, W. (2004). Analytical framework for prioritizing bicycle and pedestrian investments: New Jersey's statewide master plan update, phase 2. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1878), 27-35.
- Tal, G., & Handy, S. (2012). Measuring nonmotorized accessibility and connectivity in a robust pedestrian network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2299), 48-56.
- Talavera-García, R., & Soria-Lara, J. A. (2015). Q-PLOS, developing an alternative walking index. A method based on urban design quality. *Cities*, 45, 7-17.
- Taylor, M. A. P. (2012). Remoteness and accessibility in the vulnerability analysis of regional road networks. *Transportation research part A: policy and practice*, 46(5), 761-771.

- Thomas, T., Jaarsma, R., & Tuter, B. (2013). Exploring temporal fluctuations of daily cycling demand on Dutch cycle paths: the influence of weather on cycling. *Transportation*, 40(1), 1-22.
- Tribby, C. P., Miller, H. J., Brown, B. B., Werner, C. M., & Smith, K. R. (2016). Assessing built environment walkability using activity-space summary measures. *Journal of Transport and Land Use*, 9(1), 187-207. doi:10.5198/jtlu.2015.625
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2000). Accesibilidad al medio físico y al transporte. MANUAL DE REFERENCIA. In.
- Vale, D. S., Saraiva, M., & Pereira, M. (2015). Active accessibility: A review of operational measures of walking and cycling accessibility. *Journal of Transport and Land Use*, 9(1).
- Van Dyck, D., Cerin, E., Conway, T. L., De Bourdeaudhuij, I., Owen, N., Kerr, J., . . . Sallis, J. F. (2012). Perceived neighborhood environmental attributes associated with adults' transport-related walking and cycling: Findings from the USA, Australia and Belgium. *International journal of behavioral nutrition and physical activity*, 9(1), 1.
- Van Wee, B., Hagoort, M., & Annema, J. A. (2001). Accessibility measures with competition. *Journal of transport geography*, 9(3), 199-208.
- Vargo, J., Stone, B., & Glanz, K. (2012). Google Walkability: A New Tool for Local Planning and Public Health Research? *Journal of Physical Activity & Health*, 9(5), 689-697.
- Vidarte Claros, J. A., Vélez Álvarez, C., Sandoval Cuellar, C., & Alfonso Mora, M. L. (2011). Actividad física: Estrategia de promoción de la salud. *Hacia la Promoción de la Salud*, 202-218.
- Wegman, F., Zhang, F., & Dijkstra, A. (2012). How to make more cycling good for road safety? *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 19-29.
- Wei, Y. D., Xiao, W., Wen, M., & Wei, R. (2016). Walkability, land use and physical activity. *Sustainability*, 8(1), 65.
- Wey, W. M., & Chiu, Y. H. (2013). Assessing the walkability of pedestrian environment under the transit-oriented development. *Habitat International*, 38, 106-118. doi:10.1016/j.habitatint.2012.05.004
- Wilkinson, W. C. (1994). Selecting roadway design treatments to accommodate bicycles.
- Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping bikeability: a spatial tool to support sustainable travel. *Environment and Planning B-Planning & Design*, 40(5), 865-883. doi:10.1068/b38185
- Woldeamanuel, M., & Kent, A. (2015). Measuring walk access to transit in terms of sidewalk availability, quality, and connectivity. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(2), 04015019.
- Yin, L. (2013). Assessing Walkability in the City of Buffalo: Application of Agent-Based Simulation. *Journal of Urban Planning and Development*, 139(3), 166-175. doi:10.1061/(asce)up.1943-5444.0000147
- Yin, L., & Wang, Z. (2016). Measuring visual enclosure for street walkability: Using machine learning algorithms and Google Street View imagery. *Applied Geography*, 76, 147-153.
- Özbil, A., Yeşiltepe, D., & Argin, G. (2015). Modeling walkability: The effects of street design, street-network configuration and land-use on pedestrian movement.

ANEXOS

ANEXO 1

Edad: _____

Sexo: _____

Estrato: _____

Barrio donde vive: _____

MOVILIDAD EN EL ANDÉN

Ordene de 1 al 5, siendo 1 el de menor importancia y 5 el de mayor importancia, los siguientes elementos con respecto a su contribución en la movilidad sobre un andén.

☐

Un andén ancho

☐

Un andén en buen estado, sin huecos o grietas

☐

Un andén sin rampas para vehículos y/o bordillos en la mitad del camino

☐

Un andén sin carros parqueados

☐

Un andén libre de obstáculos como postes, casetas comerciales y ventas

SEGURIDAD ANTE ACCIDENTES

Ordene de 1 al 5, siendo 1 el de menor importancia y 5 el de mayor importancia, los siguientes elementos que contribuyen para que usted se sienta seguro cuando se cruza una vía.

☐

Los carros que transitan sobre la vía tienen bajas velocidades

☐

Hay pocos carros transitando sobre la vía

☐

Hay semáforos y señales viales

☐

Hay cebras o puentes peatonales

☐

La calle sea angosta

SEGURIDAD ANTE ROBOS

Ordene de 1 al 5, siendo 1 el de menor importancia y 5 el de mayor importancia, los siguientes elementos que contribuyen para que usted se sienta seguro ante algún posible robo sobre un andén

- ☐ Hay cámaras de seguridad en la zona
- ☐ Hay policías a la vista
- ☐ No hay grafitis en los edificios
- ☐ Hay otros peatones circulando sobre el andén
- ☐ Se sabe que no se han presentado robos en la vía

COMODIDAD EN EL ANDÉN

Ordene de 1 al 5, siendo 1 el de menor importancia y 5 el de mayor importancia, los siguientes elementos que contribuyen para que usted se sienta cómodo caminando sobre un andén

- ☐ El andén está limpio
- ☐ Hay árboles cercanos en el andén
- ☐ La calle es ancha y los edificios son de baja altura lo que les permiten tener una visión más amplia del lugar.
- ☐ Hay sombra sobre el andén
- ☐ Los edificios y/o casas son agradables a la vista

SITIOS DE INTERÉS CERCANAS A UN ANDÉN

Ordene de 1 al 5, siendo 1 el de menor importancia y 5 el de mayor importancia, los siguientes lugares a los que se desplaza con mayor frecuencia caminando.

☐

Hay sitios de comercio

☐

Hay sitios institucionales como oficinas públicas o bancos

☐

Hay casas cercanas

☐

Es fácil el acceso al transporte público

☐

Hay espacios públicos como parques, monumentos y/o plazas

SUS PREFERENCIAS PARA ELEGIR DONDE CAMINAR EN UN LUGAR

Ordene de 1 al 5, siendo 1 el de menor importancia y 5 el de mayor importancia, estos elementos que contribuyen para que usted decida escoger caminar por un andén.

☐

Movilidad en el anden

☐

Seguridad ante robos

☐

Seguridad ante accidentes

☐

Comodidad al caminar en el andén

☐

Hay sitios de interés en el andén: zonas comerciales, bancos, casas cercanas, parques o es fácil el acceso a transporte públic

ANEXO 2

Edad: _____

Sexo: _____

Estrato: _____

Barrio donde vive: _____

¿Usted es usuario regular de bicicletas?: SI _____ NO _____

¿Tiene usted bicicleta? SI _____ NO _____

Diga el lapso de horas en las cuales usted manejaría bicicleta en una vía: _____

MOTIVOS AL MANEJAR BICICLETA

Ordene de menor a mayor, siendo 5 el más importante, las siguientes actividades que prefiera realizar usando una bicicleta. En caso que no estaría dispuesto a usar bicicletas para algún motivo de viaje, coloque 0.

☐

Ir al trabajo y/o al lugar de estudio

☐

Ir a realizar compras

☐

Hacer deporte y recreación

☐

Ir a realizar relaciones personales, por ejemplo visitas o ir a reuniones sociales

☐

Otro. ¿Cuál? _____

- Teniendo en cuenta la anterior actividad escogida como más importante, la cual preferiría a hacer con una bicicleta,
¿Cuánto es el tiempo máximo que recorrería usando una bicicleta?

10 minutos _____

20 minutos _____

30 minutos _____

1 hora _____

2 horas _____

2 horas o más _____

Teniendo en cuenta la anterior actividad escoja como más importante, la cual preferiría con una bicicleta, ordene de menor a mayor (siendo 1 el menos importante y 7 el más importante) los siguientes elementos de acuerdo a la siguiente pregunta:

DECIDO USAR BICICLETA, ¿CUANDO?

- ☐ Hay infraestructura para bicicletas (ciclorrutas, estaciones para bicicletas o bicicletas públicas)
- ☐ La distancia a recorrer es corta
- ☐ El clima de la ciudad me lo permite
- ☐ En la vía hay poco riesgo de que me vea involucrado en un choque
- ☐ En la vía hay poco riesgo que me roben
- ☐ Las condiciones de las vías me lo permiten, por ejemplo vías se encuentran en buen estado (limpias, planas y sin huecos, obstáculos)
- ☐ Requiero economizar (me ahorro dinero en bicicleta)

SEGURIDAD ANTE ROBOS

Ordene de menor a mayor, siendo 1 el menos importante y 5 el más importante, los siguientes elementos que contribuyen a que usted se sienta seguro ante algún robo cuando maneja bicicleta en una vía

- ☐ Hay policías a la vista
- ☐ Hay cámaras de seguridad en la zona
- ☐ Hay buena iluminación sobre la vía
- ☐ Hay otros peatones o ciclistas circulando sobre el andén
- ☐ Se conoce que en la vía se han presentado pocos robos o situaciones de peligro

CONDICIONES DE LA VÍA

Ordene de menor a mayor importancia, donde 1 es el menos importante y 7 es el más importante, los siguientes elementos que contribuyen a que usted maneje fácilmente y cómodamente una bicicleta en la vía.

- ☐ El pavimento se encuentra en buen estado
- ☐ Una vía sin obstáculos (por ejemplo, sin postes, bolardos)
- ☐ La pendiente o inclinación de la vía es baja (no hay loma)
- ☐ Presencia de ciclorruta en la vía
- ☐ La ciclorruta es ancha lo que permite una buena circulación de los ciclistas
- ☐ Hay sombra sobre la vía
- ☐ Los edificios, lugares o casas son agradables a la vista

SEGURIDAD ANTE ACCIDENTES

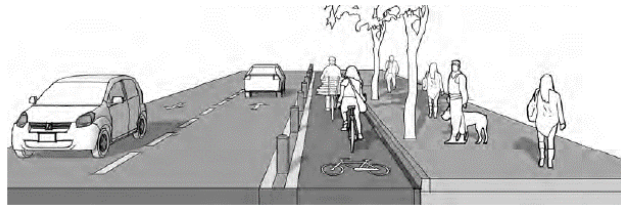
Ordene de menor a mayor, donde 1 es el menos importante y 7 es el más importante, los siguientes elementos que contribuyen a que se reduzca el riesgo de sufrir un accidente cuando maneja bicicleta en una vía

- ☐ La vía tiene ciclorruta
- ☐ La vía está debidamente señalizada con semáforos y señales viales
- ☐ No pocos buses transitando sobre la misma vía
- ☐ Hay pocos carros transitando sobre la misma vía
- ☐ Hay pocas motos transitando en la misma vía
- ☐ En la vía los vehículos transitan a baja velocidad
- ☐ Hay pocos peatones en la misma vía

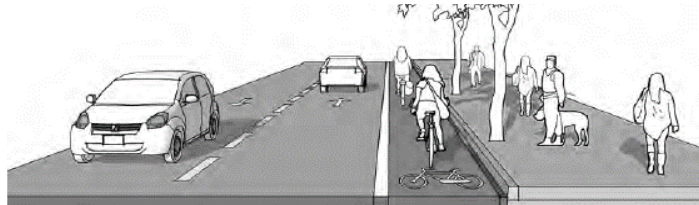
TIPOS DE LA CICLORRUTA

Ordene de menor a mayor, siendo 1 el menos importante y 5 el más importante, las siguientes tipos de ciclorruta que influyen a que se sienta cómodo y seguro manejando una bicicleta en una vía

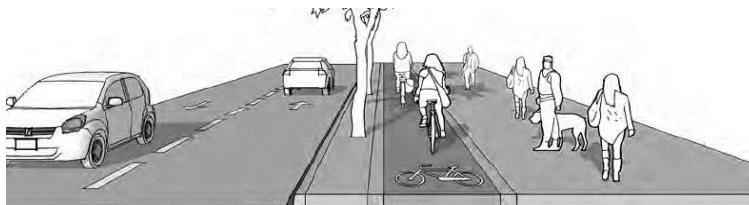
- ☐ Ciclorruta exclusiva para ciclistas en la vía con cambios de color en el pavimento y barreras físicas



- ☐ Ciclorruta exclusiva para ciclistas en la vía con cambios de color en pavimento y sin barreras físicas



- ☐ Ciclorruta exclusiva para ciclistas en el andén



- ☐ Ciclorruta en un carril de la vía no exclusiva para ciclistas pero con preferencia para bicicletas



- ☐ Ciclorruta no exclusiva en la vía para ciclistas pero con preferencia para las bicicletas



ANEXO 3. Artículos de medida de accesibilidad peatonal

Autor(es)	ASPECTOS GENERALES				METODOLOGIA PARA DESARROLLAR EL INDICE								CONSTRUCCION DE LOS FACTORES QUE MIDEN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL						
	Objetivo	Tipo de indice	Unid ad de anál isis	Caso de estudio	¿Perc epció n de los usuari os?	Tipo de usuario de toma de datos	Tipo toma datos de de	Modelación del indice			Método de elección de factores	TIPO	Método de extracción de información	¿El indice o la herramienta incluyen factores de otros modos de transporte que afectan al peatón?	Movil idad redu cida				
	Evaluar el nivel de caminabilidad de una vía o zona																		
	Priorizar infraestructura peatonal																		
	Comparar indicadores de caminabilidad																		
	Índice de nivel de servicio peatonal (LOS)																		
	Factor de caminabilidad																		
	Herramienta de evaluación de caminabilidad																		
	Índice compuesto de caminabilidad																		
	Poligonos																		
	Arco																		
	Accesibilidad al transporte publico																		
	Relación con variables asociadas a la salud o actividad física																		
	Caminabilidad en zonas urbanas																		
	No																		
	Si																		
	Expertos																		
	Individuos en la zona de estudio																		
	N/A																		
	Preferencias declaradas																		
	Preferencias reveladas																		
	Encuestas de percepción																		
	N/A																		
	Modelos de regresión																		
	Modelo de elección discreta																		
	Análisis multicriterio																		
	Análisis multivariado																		
	Análisis espaciales																		
	Promedio o suma de los valores de cada atributos																		
	Simulación																		
Indicador de accesibilidad simple																			
Encuestas a los usuarios																			
Revisión literaria																			
Criterio del autores o expertos																			
Cuantitativo																			
Cualitativo																			
Fuente: primaria: Salidas campo (OBSERVACION)																			
Fuente: secundaria: Base de datos																			
SIG online																			
SIG																			
Ninguno																			
Transporte público																			
Bicicletas																			
Conflicto con otros Peatones																			
Vehiculos privados																			
Multimodalismo																			
Si																			
NO																			
(1996) Dixon, Linda	X				X	X		Si								X			
(2000) Jaskiewicz, F	X				X	X										X			
(2000) Matley, Ted et al.		X				X										X			
(2001) Gallin,N	X				X														
(2001) Gutterplan, Martin et al.	X				X		X									X			
(2001) Landis, Bruce et al.	X				X		X			X						X			
(2003) Emery, James et al.	X				X		X	X								X			
(2003) Guttenplan, Martin et al.	X				X	X				X					X	X			
(2004) Swords, Andrew et al.		X			X										X	X			

(2004) Muraleetharan, T et al.	X			X					X			X		X		X											X	X		X						X		X									X		
(2005) Frank et al.	X						X	X			X		X				X										X		X			X			X	X											X		
(2006) Frank et al.	X						X	X			X		X				X										X		X			X			X	X											X		
(2006) Moudon, Anna Vernez et al.	X				X			X			X			X			X											X	X		X														X		X		
(2007) Jensen, Soren Underlien	X			X				X			X		X		X			X										X	X		X														X		X		
(2007) Muraleetharan, T., & Hagiwara, T. (Link a route)	X						X		X			X		X		X											X		X		X														X		X		
(2007) Dandan,T et al.	X			X				X			X		X		X		X											X	X		X														X		X		
(2008) Dowling, Richard G			X	X				X			X		X		X		X											X	X		X														X		X		
(2008) Mantri, Anupama	X						X	X				X	X			X											X		X	X		X			X	X											X		
(2008) Mehta, Vikas			X		X			X		X			X		X												X		X		X	X	X															X	
(2008) Sharma, Vishal, et al	X			X				X			X		X	X				X										X	X		X	X		X											X		X		
(2009) Chung, MyungKyung	X				X		X		X	X			X				X											X	X	X		X			X									X			X		
(2009) Kim, Tae-Ho, et al.	X			X				X			X		X	X				X										X	X	X	X	X												X			X		
(2010) Hall, Richard A.	X						X		X			X		X	X				X									X	X		X														X			X	
(2010) Iacono, Michael et al.	X						X	X				X	X				X											X	X			X				X												X	
(2010) Kelly, C.E. et al.	X						X		X			X		X		X	X	X										X	X		X	X	X		X												X		
(2011) Elias, Aaron			X	X				X			X		X		X			X										X		X		X													X			X	
(2011) Ha, Eunji; Joo, Yonjin; Chulmin, Jun	X						X		X	X			X	X				X										X		X	X	X	X												X			X	
(2011) Kingsbury, Kevin; Lowry, Michael; Dixon, Michael	X			X				X			X		X		X													X		X	X	X	X													X			X
(2011) Tal, Gil y Handy, Susan			X		X						X	X				X												X	X		X					X	X											X	
(2012) Christopoulou, Paraskevi et al.	X			X				X			X		X		X													X		X	X	X	X												X		X		
(2012) Dobesova, Z. & Krivka, T.	X						X	X			X		X			X												X		X			X			X	X											X	
(2012) Glazier, RH et al.	X						X	X			X		X				X											X		X			X			X	X											X	
(2012) Loo, Becky PY, and Lam, Winnie Wing Yee	X						X		X			X	X			X												X		X	X	X	X												X		X		

(2012) Sayyadi, G & Awashti, A		X					X	X				X		X	X				X						X			X	X										X		X		
(2012) Vargo, Jason; Stone, Brian; Glanz, Karen			X		X		X	X				X							X							X	X			X	X										X		
(2013) Asadi-Shekari, Zohreh et al.	X			X				X			X	X							X						X		X													X			
(2013) Badland, Hannah, et al.	X				X			X			X	X							X						X		X				X			X	X						X		
(2013) Carter, Peter et al.				X				X			X		X						X		X						X	X		X										X		X	
(2013) Frackelton, Alexandra	X				X		X	X			X	X							X						X		X												X		X		
(2013) Frackelton, Alexandra et al.	X						X		X		X	X						X							X		X				X			X	X						X		
(2013) Kim, Sangyoup et al.			X	X				X			X		X						X							X		X		X										X		X	
(2013) Kubat, Ayse et al.	X						X		X		X								X		X					X	X														X		
(2013) Lee, Sooil; Lee, Seungjae; Son, Hyeokjun; Joo, Yongjin	X						X	X		X					X	X				X					X			X												X		X	
(2013) Nabila, A.G et al.	X			X				X			X	X							X						X			X	X				X	X								X	
(2013) Wey, Wanng-Ming & Chiu, Yin-Hao	X						X		X	X					X	X				X					X			X		X												X	
(2013) Yin, L	X						X	X			X	X							X							X		X		X												X	
(2014) Ellis, Geraint et al			X		X			X			X								X							X		X	X													X	
(2014) Gori, Stefano; Nigro, Marialisa; Pretelli, Marco			X		X			X			X	X							X							X		X	X											X		X	
(2014) Park, Sungjin; Deakin, Elizabeth; Lee, Jae Seung	X						X		X	X					X				X		X					X		X	X	X										X		X	
(2014) Peiravian, Farideddin et al.	X						X	X			X	X							X							X		X				X		X	X							X	
(2015) Asadi-Shekari, Zohreh et al	X			X				X			X		X	X						X						X		X	X	X										X		X	
(2015) Blečić, Ivan et al.	X						X	X			X		X		X				X						X		X		X											X		X	
(2015) Ozbil, Ayse et al.	X						X	X			X		X						X		X						X	X		X	X									X		X	
(2015) Oswald Beiler, M. R & Phillips, B		X					X		X		X	X							X						X			X												X	X		X
(2015) Talavera-Garcia, Ruben; Soria-Lara, Julio	X			X				X	X			X		X					X							X		X	X		X									X		X	

[illegible]

ANEXO 4. Artículos sobre medida de accesibilidad de bicicletas

[illegible]

(1998) Harckey, David et al.	x			x				x			x		x															x	x		x							x			x													
(2001) Gutterplan, M et al.	x			x				x			x			x														x	x		x							x			x													
(2003) Emery, James et al.	x			x				x			x	x				x			x	x								x	x		x								x			x												
(2004) Swords, A et al.		x		x	x			x			x	x				x			x	x								x		x		x			x				x			x												
(2004) Munley, C et al.	x			x				x		x		x				x			x	x								x	x	x				x									x											
(2007) Jensen, Soren Underlien	x			x				x			x		x															x		x		x												x										
(2007) Parkin, J et al.	x			x				x			x		x															x	x															x										
(2007) Petritsch, Theodore et al.	x			x				x			x		x																x	x		x											x		x									
(2008) Dowling, Richard et al	x			x				x			x		x																x	x		x												x		x								
(2009) San Francisco Department of Public Health Environmental Health Section Program on Health, Equity and Sustainability	x			x				x			x	x	x															x			x	x														x								
(2009) Hochmair, Hartwig H		x		x				x			x	x				x			x	x									x		x														x			x						
(2010) Iacono, Michael et al.	x					x	x				x	x				x			x	x									x	x																x								
(2010) McNeil, Nathan	x					x	x				x	x				x			x	x									x	x																								
(2010) Rybarczyk, Greg & Wu, Changshan	x			x	x			x	x						x				x	x	x							x		x	x	x																	x					
(2010) Li, Zhibin et al.		x		x				x			x	x				x			x										x		x		x																	x				
(2011) Kang, Kyungwoo & Lee, Kyeora	x			x				x			x		x																	x	x		x																	x		x		
(2011) Hsu, TP & Lin, YT		x		x				x			x		x	x																x	x		x																	x			x	
(2012) Lowry, Michael et al.	x			x			x	x	x							x				x	x									x		x																		x			x	

(2012) Mekuria, M	X			X			X			X	X				X							X	X		X		X			X			X				
(2012) Van Dyck, C et al.	X					X	X		X			X			X							X	X		X		X		X								
(2013) Callister, Daniel & Lowry, Michael	X			X			X			X	X				X			X					X		X		X	X	X			X		X			
(2013) Iseki,Hiroyuki & Tingstrom, Matthew			X			X	X				X	X			X			X					X			X	X			X	X	X	X				
(2013) Larsen, Jacob et al.		X				X	X			X		X			X							X			X	X		X	X		X	X					
(2013) Winters, Meghan et al.	X					X	X		X		X				X							X			X		X			X	X	X					
(2014) Asadi Shekari, Zohreh et al.	X			X			X			X	X				X							X			X	X		X							X		
(2014) Duthie, Jennifer & Unnikrishnan, Avinash		X		X			X			X	X				X			X						X		X			X		X		X		X		
(2014) Hawkins, Beth (Cognitive map)	X			X			X			X		X			X								X			X		X	X						X		
(2015) Krenn, PJ et al.	X					X	X		X		X	X			X							X			X	X			X		X				X		
(2015) Munro, C	X			X			X			X		X		X								X			X		X			X						X	
(2016) Huff, K. Herbie & Ligget, Robin			X	X			X			X	X				X			X						X		X					X				X		
(2016) Lowry, Michael et al.		X		X		X	X	X			X	X			X			X						X		X			X		X				X		

ANEXO 5. CODIGO EN PYTHON: PRIORIZACIÓN DE INVERSION EN INFRAESTRUCTURA VIAL

```

for i in range(0,223):myExpress = "FID" = '%i' %i;
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("CORREDORESCICLORRUTASTOTALES","NEW_SELECTION",myExpress);arcpy.SelectLayerByLocation
_management("BICICLETASDATOSPUNTOS","INTERSECT","CORREDORESCICLORRUTASTOTALES",5,"NEW_SELECTION","NOT_INVERT");arcpy.Calcul
ateField_management("BICICLETASDATOSPUNTOS","TrabBikea","[TrabbikeaM]");arcpy.CalculateField_management("BICICLETASDATOSPUNTO
S","Depbikea","[DepbikeaM]");arcpy.SelectLayerByLocation_management("RUTASflujo5","SHARE_A_LINE_SEGMENT_WITH","CORREDORESCICLO
RRUTASTOTALES",0,"NEW_SELECTION","NOT_INVERT");arcpy.SelectLayerByAttribute_management("BICICLETASDATOSPUNTOS","CLEAR_SELECTIO
N"); MYEXPRESS = 'ruta%i.shp' %i; arcpy.SpatialJoin_analysis("RUTASflujo5", "BICICLETASDATOSPUNTOS",MYEXPRESS, "JOIN_ONE_TO_ONE",
"KEEP_ALL",
fieldmappings,
"Intersect",5);arcpy.CalculateField_management("BICICLETASDATOSPUNTOS","TrabBikea","[Wjt]");arcpy.CalculateField_management("BICICLE
TASDATOSPUNTOS","Depbikea","[Wjd]");
myExpress = 'ruta%i' %i;
arcpy.JoinField_management(myExpress,"TARGET_FID","RUTASflujo5","FID",["FDOD","FODT","FODD","FODT"]);arcpy.AddField_management(myEx
press,"Tij1","DOUBLE",18,8);arcpy.AddField_management(myExpress,"Tij2","DOUBLE",18,8);arcpy.AddField_management(myExpress,"Tij3","DOUBL
E",18,8);arcpy.AddField_management(myExpress,"Tij4","DOUBLE",18,8);arcpy.SelectLayerByAttribute_management(myExpress,"NEW_SELECTIO
N","FODT"<>0');
arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij1","exp([FODT])");arcpy.SelectLayerByAttribute_management(myExpress,"NEW_SELECTION",'
"FODT"<>0');
arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij2","exp([FODT])");arcpy.SelectLayerByAttribute_management(myExpress,"NEW_SELECTION",'
"FODD"<>0');
arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij3","exp([FODD])");arcpy.SelectLayerByAttribute_management(myExpress,"NEW_SELECTION",
"FODD"<>0');
arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij4","exp([FODD])");arcpy.SelectLayerByAttribute_management(myExpress,"NEW_SELECTION",
"Join_Count"<>0
AND
"Tij1"<>0');
arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij1","exp([FODT]+[TrabBikea]/[Join_Count])");arcpy.SelectLayerByAttribute_management(my
Express,"NEW_SELECTION","Join_Count"<>0
AND
"Tij2"<>0');arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij2","exp([FODT]+[TrabBikea]/[Join_Count])");
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(myExpress,"NEW_SELECTION","Join_Count"<>0
AND
"Tij3"<>0');
arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij3","exp([FODD]+[Depbikea]/[Join_Count])");arcpy.SelectLayerByAttribute_management(m
yExpress,"NEW_SELECTION","Join_Count"<>0
AND
"Tij4"<>0');arcpy.CalculateField_management(myExpress,"Tij4","exp([FODD]+[Depbikea]/[Join_Count])");arcpy.SelectLayerByAttribute_manag
ement(myExpress,"NEW_SELECTION");values1 = [row[0] for row in arcpy.da.SearchCursor(myExpress, 'Tij1')]; values2 = [row[0] for row in
arcpy.da.SearchCursor(myExpress, 'Tij2')]; values3 = [row[0] for row in arcpy.da.SearchCursor(myExpress, 'Tij3')]; values4 = [row[0] for row in
arcpy.da.SearchCursor(myExpress, 'Tij4')];a= sum(values1); b=sum(values2); c=sum(values3);d=sum(values4); e= a + b + c +
d;print(e);arcpy.Delete_management(myExpress);

```